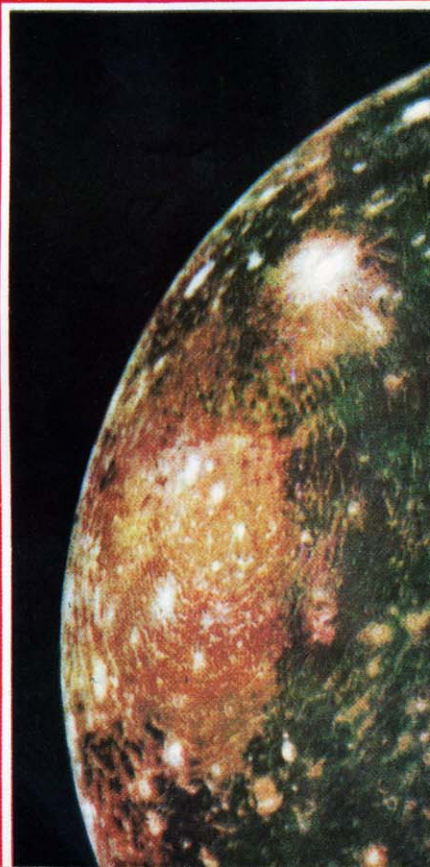


Б. И. СИЛКИН

В мире множества лун



Б. И. СИЛКИН

**В мире
множества
лун
спутники планет**

Под редакцией
Е. Л. РУСКОЛ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1982

22.654

С 36

УДК 523.4

Силкин Б. И.

С36 В мире множества лун/Под ред. Е. Л. Рускол.—
М.: Наука. Главная редакция физико-математи-
ческой литературы, 1982. — 208 с., ил.— 40 к.

Книга популярно рассказывает о мире естественных спутников планет (кроме Луны). За последние годы наши знания об этих телах Солнечной системы значительно обогатились, главным образом в результате исследований, проводимых с помощью космических аппаратов. Открыты неизвестные ранее спутники и кольца Юпитера, Сатурна и Урана, на спутниках обнаружены действующие вулканы. Мир спутников оказался чрезвычайно разнообразным по своим свойствам. Обо всем этом живо и образно пишет автор.

Для широкого круга читателей.

С $\frac{1705050000 - 046}{053(02)-82}$ 182-82.

ББК 22.654
526

С $\frac{1705050000 - 046}{053(02)-82}$ 182-82.

© Издательство «Наука»
Главная редакция фи-
зико-математической
литературы, 1982

Пролог: Наше «место под Солнцем»

Солнечная система — это большой дом человечества. Поэтому, прежде чем говорить о сравнительно небольших ее «деталях», которыми, по существу, являются спутники планет, следует рассказать об ее общем устройстве и закономерностях, правящих ею.

Главным телом здесь служит Солнце, которое своей гигантской массой, в 331 940 раз превышающей земную, контролирует движение всех небесных тел в пределах нашей системы. Названия больших планет сегодня знакомы всем со школьных лет: это Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Сравнительные сведения о них читатель найдет в табл. 1, в конце книги, здесь же необходимо сказать, что спутники (а они-то и являются главными героями нашей книги) есть не у всех этих планет. К тому же у разных планет их число очень различно. Так, если Меркурий и Венера совсем «лишены свиты», то у Юпитера количество спутников перевалило за дюжину, у Сатурна — тоже. При этом, если количество известных больших планет вот уже полвека остается постоянным и вряд ли теперь изменится, то на вопрос, сколько всего спутников в Солнечной системе, уверенно ответить пока нельзя. На сегодня их насчитывается более сорока, но не исключено открытие новых и даже «заккрытие» ошибочно обнаруженных ранее. Кроме того, у Сатурна есть кольца, а недавно кольца открыли также у Урана и Юпитера.

Сложная «карусель» движений планет вокруг Солнца, спутников и колец вокруг планет подчиняется строгим законам. Один из основателей современной астрономии Иоганн Кеплер (1571—1630) первым установил эти законы. О них мы расскажем несколько ниже.

Появились они не на пустом месте. Им предшествовали события, происходившие в глухом уголке северо-восточной Европы...

В майский день 1543 г. в тихий провинциальный городок Фромборк была из Нюрнберга доставлена книга, принадлежавшая перу юриста, каноника и врача Николая Коперника. За плечами автора была долгая жизнь, исполненная мысли и научных трудов. После учебы в университетах Кракова, Болоньи, Падуи, Феррары, после ведения епископальных дел — добровольное уединение в башне фромборкской крепостной стены. Когда фолиант с латинским названием «*De Revolutionibus Orbium Coelestium*» («Об обращениях небесных сфер») принесли автору, он уже лежал на смертном одре и не мог прочитать свои строки, которым суждено было стать бессмертными: «...Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета...»

Одна эта фраза нанесла Средневековью тяжелейший удар. Ведь она, помимо своего астрономического смысла, значила и то, что видимое нами — лишь одно из проявлений действительности, что истина не может быть плодом одних лишь спекулятивных рассуждений; она достижима лишь путем многосторонних наблюдений и экспериментов.

Гелиоцентрическая система Коперника — его «мир с Солнцем, а не Землей посередине» — завоевала себе признание далеко не сразу. Когда в 1514 г. мало кому известный за пределами родного города каноник Фромборкский разослал свой рукописный труд «Малый комментарий» (предварительное сжатое изложение гелиоцентрического учения) видным астрономам Европы, впервые выдвигая мнение, что не Солнце вращается вокруг Земли, а наоборот, лишь немногие прислушались к нему.

Однако один союзник — и очень активный, все же нашелся. Это был Георг Иоахим фон Лаухен, более известный под латинизированным именем Ретик (1514—1576), двадцатипятилетний профессор математики, преподаватель университетов в Виттенберге, Лейпциге, в Венгрии. Прибыв специально в Фромборк, он в конце концов получил от Коперника согласие на

издание его главного труда. Уезжая, Ретик увозил с собой бесценную рукопись, которую он немедленно сдал в типографию в Нюрнберге, городе немецкого первопечатника Иоганна Гутенберга. Город стал центром, из которого распространялись многие революционизирующие идеи Возрождения, в том числе и гелиоцентрическая система Коперника.

Надо сказать, что в своем первоначальном виде труд Коперника был не свободен от ошибок. Вероятно, это тоже послужило причиной отказа в поддержке его многими астрономами того времени. Но когда Кеплер сформулировал свои замечательные законы, определяющие движение планет, коперниковское учение стало повсеместно одерживать победу.

В жизни Кеплера, как в капле воды, отразились все трагические противоречия его времени, и пронизанного свежими ветрами эпохи Возрождения, и посредневековому удушливого.

Когда Кеплер был еще юношей, пораженный его незаурядными способностями профессор Тюбингенской академии М. Мёстлин стал давать ему частные уроки математики. Он же и познакомил молодого человека с учением Коперника.

Семя пало на плодороднейшую почву: двадцатипятилетний профессор «математики и нравственной философии» (так назывались тогда естественные науки), выкроив время, свободное от укрощения непослушных гимназистов в Граце (Австрия), написал труд, озаглавленный «Космографическая тайна» (1596 г.). В нем автор полностью соглашался с теорией Коперника.

Даром это ему не прошло. Внушать юношеству, что не Земля лежит в центре мироздания?.. И Кеплер покидает Грац в поисках более гостеприимного уголка.

Приглашенный в качестве помощника к Тихо Браге (1546—1601), жившему в Праге, Кеплер унаследовал огромный архив наблюдений звездного неба, принадлежавший великому астроному-датчанину. Девять лет, применяя самые совершенные математические методы своего времени, обрабатывал он материалы наблюдения Марса. Плодом этого титанического труда стала его монография с названием: «Новая астрономия, причинно обусловленная, или Физика неба, изложенная в исследованиях о движении звезды Марс по

наблюдениям благороднейшего мужа Тихо Браге» (1609 г.). В ней он исправлял ошибку Коперника: Красная планета (так часто называют Марс) обращается вокруг Солнца не по окружности, как думал тот, а по эллипсу, в одном из фокусов которого и находится светило. В этом состоит первый закон Кеплера, которому подчиняются движения всех планет.

Несколько позже, в книге под характерным названием «Сокращение Коперниковой астрономии» Кеплер сделал вывод, согласно которому движение любой планеты по эллипсовидной орбите имеет переменную скорость, и площади, которые очерчиваются радиусом-вектором планеты (линией, соединяющей планету с центральным светилом) в равные периоды времени, должны обязательно быть равными между собой. Теперь мы называем это вторым законом Кеплера. Из него следует, что в области перигелия (ближайшей к Солнцу точки орбиты) планета перемещается быстрее, а в области афелия (самой удаленной от Солнца точки) медленнее.

Третий закон Кеплера, утверждающий, что отношение квадратов времени обращения планет вокруг Солнца равно отношению кубов их средних расстояний от него, по существу, в значительной мере лег в основу закона всемирного тяготения Исаака Ньютона (1643—1727): «Любая частица материи во Вселенной притягивает любую другую с силой, которая прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату разделяющего их расстояния».

Так и возникли первые «правила поведения», которым обязаны «подчиняться» в своем околосолнечном движении все планеты, а также и единственный известный тогда спутник — Луна, обращающаяся вокруг Земли.

События в эпоху Возрождения развиваются сравнительно быстро. Еще примерно за год до того, как Кеплер опубликовал свою «Новую астрономию», было сделано незаурядное изобретение. Имя изобретателя мы, по-видимому, уже никогда не узнаем, как не узнаем и великого конструктора первого колеса.

Очевидно только, что произошло это в Голландии и не позже 1608 г.: в это время стало известно, что отшлифованное определенным образом чечевицеобразное (а чечевица по-немецки называется «линзе»)

стекло становится «линзой» и приобретает способность «приближать» объекты к глазу наблюдателя!

Как только эта весть достигла Италии, она буквально воспламенила профессора механики Падуанского университета Галилео Галилея (1564—1642). Сорокачетырехлетний ученый к тому времени уже был автором законов, определяющих колебания маятника, свободное падение тел, движения тел, брошенных под углом к горизонту. Казалось бы, уже этого достаточно для бессмертия. Но универсальный гений эпохи Возрождения пределов не знал.

Своими руками Галилей немедленно изготовил себе телескоп. Этот, по нашим нынешним представлениям, детский прибор (он давал лишь трехкратное увеличение) Галилей впервые в истории направил на небо и... заново открыл его.

Горы на Луне, пятна на Солнце, которое, оказывается, вращается вокруг собственной оси, звездная россыпь, образующая, ко всеобщему изумлению, Млечный Путь,— все это предстало миру со страниц вышедшей в 1610 г. книги Галилея, соответственно и озаглавленной: «Звездный вестник, открывающий великие и в высшей степени удивительные зрелища...».

...Вечер 7 января 1610 г. Галилей решает повернуть свою трубу в сторону Юпитера. Вот она, эта яркая звезда, знакомая не только людям античного мира, давшим ей нынешнее название, но, вероятно, еще и пещерному человеку, также легко различавшему ее без всяких искусственных приспособлений.

Но что это? Рядом с Юпитером три какие-то маленькие блестящие точки... Они движутся?.. В следующие же ночи к трем точкам присоединилась четвертая, и стало ясно, что все они сопровождают Юпитер в его движении вокруг Солнца, сами одновременно обращаясь вокруг этой планеты. Крупнейшая планета нашей системы обладает собственными лунами!

Так родился тот раздел астрономии, которому посвящена эта книга, и который можно было бы назвать «спутниковедением».

С течением времени стало ясно, что движение любого спутника вокруг «его» планеты подчиняется тем же законам, что и движение планет вокруг Солнца, и вообще законам Кеплера и Ньютона подчиняется движение любых тел во Вселенной.

Конечно, эти законы следует прилагать лишь к такой гипотетической ситуации, при которой во всей Вселенной только эти два тела и существуют — планета и ее спутник. В действительности же здесь вмешивается притяжение и всех остальных тел Вселенной, но так как, согласно закону Ньютона, их влияние убывает с расстоянием довольно быстро, то в большинстве случаев их воздействием можно и пренебречь.

Представим себе, что мы летим, удаляясь по прямой от Солнца. В этом движении мы поочередно пересечем орбиты Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Затем следует большой «пробел», который еще в старину обращал на себя внимание астрономов, высказывавших по этому поводу немало разнообразных догадок.

Когда «пробел» кончится, мы приблизимся к орбите гигантской планеты Юпитер, а затем к орбите Сатурна. Все упомянутые небесные тела с Земли можно наблюдать невооруженным глазом, так что об их существовании было известно задолго до изобретения телескопа.

За орбитой Сатурна лежит Уран. Он был открыт в 1781 г. уже благодаря телескопу. К этому времени скромный немецкий учитель музыки и органист Фридрих Вильгельм Гершель (1738—1822), переехавший из родного ему Ганновера в чужую Британию, давно уже превратился не только в «англичанина» по имени Уильям, но и во всемирно известного математика и астронома.

Гершель был прямо-таки одержим идеей создания астрономических приборов. Из-под его рук выходили десятки — нет, сотни все более совершенных зеркал и оптических систем. Так, ему принадлежала конструкция уникального по тому времени 12-метрового рефлектора с диаметром зеркала 122 см.

31 марта 1781 г. он направил свой астрономический прибор в ночное небо и стал первым человеком, увидевшим планету Уран. Не всякому суждено расширить пределы известного мира более чем вдвое! А именно настолько, по подсчетам восхищенного Пьера Симона Лапласа (1749—1827), великого математика, создателя небесной механики, которого цифрами не удивишь, «раздвинул» Гершель Солнечную систему, достигнув взглядом орбиты Урана, отстоящей от нас более чем на 3 миллиарда километров.

Гершель был озадачен «неисчерпаемостью» Вселенной, невозможностью познать ее бесчисленные звезды. Поэтому он разработал такой подход к делу, который сам назвал «методом черпков». «Зачерпывая» в разных уголках бездонного неба хранящиеся там тайны мироздания и статистически осредняя полученные результаты, астроном пытается создать общую картину Вселенной.

Уран был открыт случайно, когда он ненароком был «зачерпнут» Гершелем. Совсем другое дело — следующая планета на нашем воображаемом пути от Солнца — Нептун. Закон всемирного тяготения позволил разработать теорию движения планет. Но вот оказалось, что Уран «нарушает правила»: он движется так, как будто в некоторой степени игнорирует закон Ньютона. Кто же или что же оказывает «дурное влияние» на него?

Этот вопрос в одно и то же время задали себе два человека, не знавшие друг друга: 24-летний преподаватель математики в Кембридже Джон Кауч Адамс (1819—1892) и 32-летний химик и астроном Урбен Жан Жозеф Леверье (1811—1877), работавший в парижской Политехнической школе.

В 1843 г. и Адамс, и Леверье, исследовав возмущения (неправильности) в движении Урана, догадались что их вызывает воздействие неизвестной планеты. Оба сформулировали задачу: зная массу тела и наблюдая его отклонения от «предписаний» Ньютона, найти, где находится другое тело, вызывающее эти отклонения. Оба, что называется, «не списывая» друг у друга, эту задачу решили, рассчитав орбиту незнакомца и его массу.

Далее пути исследователей расходятся. В октябре 1845 г. Адамс представил свои выводы Королевскому астроному — директору Гринвичской обсерватории Джорджу Бидделу Эри (1801—1892), но тот почему-то не поспешил с организацией поисков неведомой планеты в том месте, которое указал молодой коллега.

В те же дни Леверье, уже занимавший более независимое положение, чем Адамс, самостоятельно опубликовал свои совершенно аналогичные расчеты! Мало того, он послал личное письмо астроному Иоганну Готфриду Галле (1812—1910) в Берлинскую обсерваторию, прося его заняться поисками заурановой

планеты по вычисленным им координатам. Письмо поступило к адресату 23 сентября 1846 г.; Галле сразу понял всю важность дела и в тот же вечер отыскивал неизвестное небесное тело «на своем месте». Честь открытия восьмой планеты, получившей название Нептун, тем самым принадлежит в равной мере двум теоретикам и одному наблюдателю.

Тем же способом, «на кончике пера», был открыт девятый член солнечной семьи — Плутон. Роль теоретика-предсказателя в этом случае сыграл американец Персиваль Лоуэлл (1855—1916). Астрономия поначалу не являлась его специальностью; сперва он был очень активным бизнесменом. Как-то в его руки попала книга Джованни Скиапарелли (1835—1910). Этот профессор Миланского университета прославился страстью, с которой он призывал к изучению Марса. Только что открытые «каналы» на Красной планете многим казались доказательством существования там разумной жизни. Увлеченность Скиапарелли оказалась заразительной: Лоуэлл стал активнейшим астрономом-профессионалом.

В городке Флагстафф (штат Аризона) он на свои средства возвел отлично оборудованную обсерваторию, где широко поставил наблюдения планет. Сам же, постигнув глубины математики, занялся небесной механикой. В 1905 г., изучив возмущения в движении Урана по его орбите, он решил, что за Нептуном должна находиться еще одна планета, и рассчитал ее предполагаемую орбиту.

Однако в этом случае поиски не ограничились одним вечером. Дело в том, что девятая планета, как впоследствии оказалось, обладает свечением в 600 раз меньшим, чем у Нептуна. Поэтому, несмотря на все усилия собранного во Флагстаффе коллектива, понадобилось почти тридцать лет, чтобы открыть Плутон. Удача пришла к молодому астроному Клайду Уильяму Томбо (род. 1906 г.). В 1930 г., когда Лоуэлл уже давно не был в живых, на обсерватории его имени, где за год до этого был установлен новый, совершенный 13-дюймовый (33 см) рефрактор, Томбо нашел девятую планету там, где ей и полагалось быть по расчетам Лоуэлла.

Мысленно обернувшись назад и осмотрев свой великий дом, мы снова заметим, что у первых двух

планет — Меркурия и Венеры — спутников нет. У Земли — Луна. Но о ней наука теперь знает столь много, что потребовалась бы целая книга и даже не одна. К тому же подобные книги уже написаны. Поэтому Луне здесь мы не станем уделять того внимания, которое она, разумеется, заслужила.

С внешней стороны орбиты Земли, считая от Солнца, пролегает орбита Марса с его двумя лунами. С них-то мы и начнем рассказ.

«Страх» и «Ужас» — спутники бога войны

Догадка и открытие

На дворе 1726 год. Джонатан Свифт, настоятель собора Святого Патрика в Дублине, уединившись в своем кабинете и сняв, наконец, надоевший парик, берет в руки гусиное перо и погружается в мир вымысла. Перед ним рукопись, озаглавленная «Путешествия в некоторые отдаленные части света Лемюэля Гулливера, сначала хирурга, а потом капитана нескольких кораблей». Описываемые в этой рукописи части света хотя и «отдаленные», но очень они напоминают родную автору Британию...

Сегодня великому сатирику предстоит немалое произведаться над высокомудрыми мужами из Британского королевского общества. А посему любознательный странник Гулливер посещает Лапутянскую академию наук. Здесь натурфилософия процветает: разрабатывается способ получения солнечных лучей из ...огурцов, метод пережигания льда в пороке...

Свифт на секунду задумывается, глядит в окно. На улице вечерет, первые звезды появляются на небосводе... Свифт ухмыляется, перо его поскрипывает: «Кроме того, они открыли две маленькие звезды или спутника, обращающихся около Марса, из которых ближайший к Марсу удален от центра этой планеты на расстояние, равное трем ее диаметрам, а более отдаленный находится от нее на расстоянии пяти таких же диаметров. Первый совершает свое обращение в течение 10 часов, а второй в течение 21 с половиной часа, так что квадраты времен их обращения почти пропорциональны кубам их расстояний от центра Марса, каковое обстоятельство с очевидностью показывает, что означенные спутники управляются

тем же самым законом тяготения, которому подчинены другие небесные тела...» *).

Мы никогда доподлинно не узнаем, как в этот, пускай даже незаурядный ум пришло столь ясное озарение: двести пятьдесят лет назад, когда были написаны эти строки, никто спутников Марса не видел даже в телескопы, не говоря уж о том, чтобы довольно точно предсказывать параметры этих небесных тел. Так, период обращения одного из спутников Марса Свифт угадал с точностью до одной четверти, а другого — до 40 процентов.

Угадал? А, может быть, просто логически домыслил? Такое мнение разделяет, например, член-корр. АН СССР И. С. Шкловский **). Он предлагает примерно следующую весьма правдоподобную «модель» рассуждения Свифта. У Земли спутник один. У Юпитера — четыре (мы-то теперь знаем, что их много больше, но в XVIII в. были известны лишь четыре его «галилеевых» спутника). Орбита Марса — между земной и юпитерианской, значит, исходя из геометрической прогрессии, у Марса должно быть две Луны!

Дело еще и в том, что XVIII век не избавился от идеи Пифагора и его учеников о гармонии чисел, якобы правящей миром. Древнегреческие философы-пифагорейцы видели в числах не абстракцию, а подлинную сущность вещей, их «душу». Буквально обожествляя числа, они полагали, что, изучив только их, можно познать все закономерности живого и неживого. И движение небесных тел тоже, по мысли пифагорейцев, «закодировано» в чудесных числах. Может быть, на этом фундаменте Свифт и строил свои умозрительные заключения ***).

Между прочим, Свифт не был единственным великим писателем XVIII столетия, кто «открыл» спутники Марса. Франсуа Мари Вольтер — властитель дум блистательного века Просвещения, сочиняя в 1752 г. фантастическую повесть «Микромегас», тоже упомя-

*) *Свифт Дж.* Путешествия Гулливера.— М.: Московский рабочий, 1958, с. 194.

**) *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум.— 2-е изд.— М.: Наука, 1965, с. 178—179.

***) Надо сказать, что Свифт мог читать сочинения Кеплера, в которых, правда, в неясной форме, на «основе» пифагорейской мистики чисел глухо упоминается о возможности существования спутников Марса.

нул «две луны Марса». Но — мельком, без тех подробностей, которые перечислил Свифт, да и вообще из его сочинений видно, что познания Вольтера в астрономии уступали таковым автора «Гулливера». Единственным «доказательством» у Вольтера, что их две, служит такое соображение: одной луны было бы недостаточно, чтобы освещать по ночам столь далекую от Солнца планету! И все-таки — «У Марса — две Луны...».

Нет, конечно, простым «угадыванием» или «прозрением» Свифта и Вольтера объяснить это нельзя. Помимо пифагорейских идей, здесь могло сыграть роль и следующее. Тогда уже было замечено то важное обстоятельство, что между орбитами Марса и Юпитера лежит как бы некий пробел: расстояние между ними во много раз больше, чем между другими планетами.

В XVIII в. полагали, что в этой «пустынной» области на самом деле существует еще одна планета, просто до тех пор не открытая. Как уже говорилось, из спутников Юпитера было тогда известно четыре. Из лун Сатурна астрономы уже открыли к тому времени пять.

Напрашивалась закономерность: у Венеры спутников нет, у Земли — один, у Марса тогда должно быть два; неизвестной планете между Марсом и Юпитером должно принадлежать три — ведь у Юпитера их четыре, а у Сатурна — пять. Все очень стройно и логично, не правда ли?

Что же касается довольно точного свифтовского «определения» расстояний, на которые удалены от Марса его луны, то очень правдоподобно предложение, которое сделал два столетия спустя немецкий астроном, директор Потсдамской обсерватории Ф. В. Людендорф (1873—1941), внесший большой вклад и в области истории своей науки. Он высказал мнение, что великий сатирик не угадал, а рассчитал: галилеев первый спутник Юпитера, как тогда думали, находится в двух с четвертью диаметрах планеты от ее поверхности, а второй — в четырех с половиной. Зная законы Кеплера, Свифт без труда мог рассчитать периоды обращения марсианских лун.

Однако до подлинного, а не «научно-фантастического» открытия спутников Марса человечеству при-

шлось ждать еще полтора года лет, до 1877 г., который стал поистине «марсианским». Джованни Скиапарелли в это время буквально поставил на ноги весь астрономический мир, сообщив о существовании на Красной планете «каналов» и «морей». Не было на Земле тогда обсерватории, не включившей наблюдения Марса в свой первоочередной список исследований.

А поиски спутников Марса и без того уже шли своим чередом. Еще в дежурном журнале Гершеля под 1783 г. значатся попытки их отыскать, но, увы, тщетные. Два года своей жизни посвятил безотрывным наблюдениям околомарсианского пространства немецкий астроном французского происхождения, работавший в Копенгагене, Генрих (Анри) Луи Д'Арре (1822—1875). С 10-дюймовым (25 см) рефрактором в 1862—1864 гг. он «обшарил» небо рядом с Марсом, но безуспешно... Однако сказать так было бы неверно: в науке и негативный результат тоже полезен. Прибор Д'Арре мог бы «засечь» небесное тело со звездной величиной *) 12^m , но не обнаружил его. Значит, если такое тело существует, оно должно или находиться очень уж близко к поверхности планеты, или же, наоборот, быть на расстоянии более чем в 20 марсианских диаметрах от него. Любой «тусклый» объект, со светимостью меньше 12^m , находящийся близко к Красной планете, в копенгагенский телескоп различить было бы невозможно.

«Марсианская горячка», поднятая Скиапарелли, имела под собой и объективную основу: 1877-й год был годом великого противостояния, при котором Марс и Земля очень близко подходят друг к другу.

Такими благоприятными условиями не мог пренебречь опытный астроном Эсаф Холл (1829—1907), уже заслуживший себе немалый авторитет как один из лучших наблюдателей и вычислителей в Гарвардской обсерватории и профессор математики в Морской

*) Звездная величина (обозначается латинской буквой «*m*») — мера блеска, или светимости небесного тела, определяемая освещенностью, создаваемой им на Земле. Полярная звезда, например, имеет блеск, равный второй звездной величине (2^m). Звезды первой звездной величины ярче звезд второй величины в 2,512 раза, а звезды 3^m слабее звезд 2^m в 2,512 раза и т. д. Шесть звезд «ковша» Большой Медведицы также имеют примерно вторую звездную величину.

обсерватории (Вашингтон). Он приступил к делу весьма систематически, но долгое время успеха не имел.

Рассказывают, что поделившись своей неудачей с женой, он услышал совет: «Если спутники никак не найдутся вдалеке от Марса, может быть, стоит попытаться счастья и поискать их ближе к планете». Так ли было на самом деле, несущественно. Важно лишь, что 10 августа 1877 г. недавно построенный 26-дюймовый (65 см) рефрактор Морской обсерватории был наведен таким образом, чтобы в его поле зрения сама планета едва-едва не попадала. Затем Холл начал медленно рассматривать ее ближайшие окрестности.

Позже он вспоминал: «В первую ночь я не нашел ничего; изображение планеты было очень ярким и неустойчивым, так что я не увидел спутников, которые находились слишком близко к диску Марса. Ночью 11 августа я несколько раз повторил осмотр пространства вокруг планет и в 2 часа 30 минут заметил слабо светящийся объект чуть севернее планеты. Впоследствии оказалось, что это ее внешний спутник. Едва я успел определить его местонахождение, как с реки Потомак поднялся густой туман и работу пришлось прервать. Несколько дней было облачно. Лишь вечером 15 августа к 11 часам небо прояснилось и я возобновил поиски, но атмосфера была в плохом состоянии и объект увидеть никак не удавалось. (Как мы теперь знаем, он в это время был так близко к планете, что стал невидимым.) 16 августа я нашел его снова, и наблюдения показали, что он движется вместе с планетой. Если это спутник, то он должен был находиться вблизи одной из своих элонгаций*). 17 августа, ожидая появления внешнего спутника, я открыл внутренний...

Все же еще несколько дней внутренняя луна оставалась загадочной. В течение одной и той же ночи она появлялась то с одной, то с другой стороны планеты, и я сперва даже думал, что существуют две или три внутренние луны, настолько невероятным казалось мне, что спутник может обращаться вокруг планеты

*) Элонгацией называется наибольшее видимое удаление спутника планеты от самой планеты (или планеты от Солнца).

быстрее, чем она сама вращается вокруг собственной оси.

Чтобы разобраться в этом деле, я неотрывно следил за лунами по ночам 20 и 21 августа и установил, что в действительности там есть лишь одна внутренняя луна, которая делает полный оборот вокруг планеты за одну треть времени, которое у той уходит на полный оборот вокруг собственной оси, что в Солнечной системе является беспрецедентным».

Астрономия — наука «приборная», результаты исследования очень зависят от того, каков инструмент, которым пользуется ученый. Поэтому имена тех, кто сконструировал и построил самые совершенные приборы, следует помнить не хуже, чем имена тех, кто с успехом их применял. Так, нельзя здесь не упомянуть замечательного американского оптика-шлифовальщика Алвена Кларка (1804—1887), основавшего со своими двумя сыновьями предприятие по производству телескопов. Изготовленный этой талантливой семьей самородков рефрактор Вашингтонской обсерватории с диаметром 66 см и способствовал открытию Холла.

Узнав об открытии из газет, одна английская школьница предложила Холлу названия для новых небесных тел: богу войны в античных мифах вечно сопутствуют его детища — Страх и Ужас, так пусть же внутренний из спутников именуется Фобосом, а внешний — Деймосом, ибо так эти слова звучат в древнегреческом языке. Названия оказались удачными и закрепились навсегда.

Итак, марсианские луны были, наконец, не угаданы, а открыты. Оставалось всего лишь их исследовать.

Исследование

«Всего лишь» — легко сказать. Ведь они оказались, несмотря на близость Красной планеты к Земле, среди наиболее труднонаблюдаемых объектов во всей нашей Солнечной системе. Особенно это касается внешнего спутника — Деймоса. С телескопом, диаметр которого меньше 8 дюймов (20 см), за это дело, пожалуй, вообще приниматься не стоит. Правда, швейцарскому астроному М. дю Мартре (1892—1955), пользовавшемуся 5-дюймовым (12 см) прибором, удавалось несколько раз наблюдать и Фобос и Деймос, но это

случай исключительный: помогало сочетание необычно острого зрения с превосходным расположением обсерватории. Да и то для этих наблюдений дю Мартре приходилось прикрывать изображение диска самой планеты «заглушкой», создавая как бы искусственное затмение Марса, чтобы он не слепил глаза.

Орбиты марсианских лун, имеющие почти правильную круговую форму, пролегают очень близко к поверхности планеты. Экваториальный радиус Марса составляет около 3450 км, то есть едва-едва превышает половину земного. Фобос же проходит над его поверхностью всего в 5920 км. Ближе, как говорится, некуда: для любого спутника подходить слишком близко к планете опасно. К этому, по существу, сводится открытие, сделанное в 1849 г. французским математиком и астрономом Эдуардом Альбертом Рошем (1820—1883). Он с цифрами в руках доказал, что всякому спутнику, оказавшемуся ближе к своему центральному телу, чем совершенно определенное расстояние, грозит неизбежная опасность «развалиться» на составные части под влиянием тяготения планеты. Так вот, Фобос живет «на краю гибели»: он только-только не переступает предел, «предписанный» ему Рошем.

Из цитированного ранее дневника наблюдений Холла видно, что орбиты спутников Марса вообще явление не совсем обычное. Правда, наклон их к плоскости эклиптики ничем не примечателен, направление, в котором они обращаются вокруг планеты, тоже как у большинства. Но вот время этого обращения...

Марсианские сутки почти не отличаются от земных — они длятся 24 ч 37 мин. Но за этот короткий период Фобос (рис. 1) успевает почти три раза обогнуть свою планету: на один оборот у него уходит всего 7 ч 39 мин 14 с.

А Деймос (рис. 2), орбита которого удалена от Марса в два с половиной раза больше, чем орбита Фобоса, естественно, обращается вокруг планеты за куда более значительное время: у него один оборот продолжается 30 ч 17 мин 55 с.

Предположим, что мы на Марсе. Тогда нашим взорам предстанет любопытная картина. Фобос будет маленьким, но ярким пятнышком. А Деймос окажется всего раза в два-три более ярким, чем Венера в ее самые «светлые» периоды. (Впрочем, тень при таком

Рис. 1. Фотография Фобоса, сделанная с орбитального отсека автоматической межпланетной станции «Викинг-2», находившегося от него на расстоянии 870 км. Хорошо различимы загадочные борозды, покрывающие поверхность спутника.

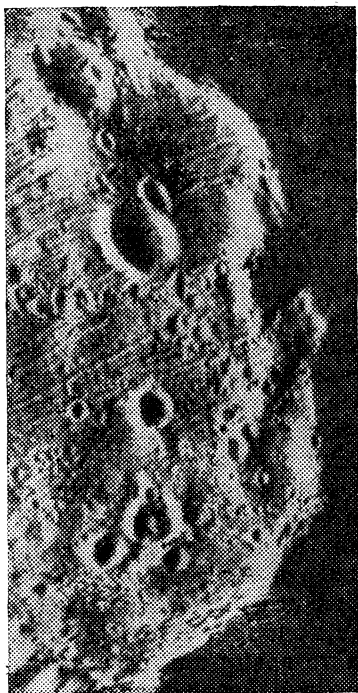
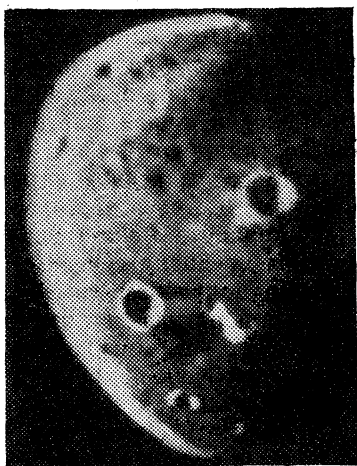


Рис. 2. Спутник Марса Деймос, снятый автоматической межпланетной станцией «Викинг-2». Поверхность этого спутника выглядит менее пересеченной, чем у Фобоса.



освещении, хотя и слабую, предметы отбрасывать будут.) Стоит сказать, что луны Марса лучше всего наблюдать, находясь на его экваторе. При этом мы видели бы всегда одну и ту же сторону его спутников и никогда — обратную. Период вращения каждого спутника и период его обращения вокруг Марса одинаковы. Это стало неизбежным в результате притяжения Марса, действующего в течение всей истории этой системы. Такое вращение называется синхронным.

Во всем изложенном здесь еще нет ничего особенного: ведь и обратную сторону Луны мы увидели только после наступления космической эры. Но вот что явится изумительным зрелищем для землянина на Марсе, так это восход Фобоса. На Красной планете, как и у нас, все небесные тела представляются восходящими на востоке. Все кроме Фобоса. Он, вопреки привычным для нас представлениям, на востоке садится, а восходит на западе. При этом картину его появления в марсианских небесах можно ежедневно наблюдать дважды!

Любопытное совпадение: диаметр нашей земной Луны примерно в 400 раз меньше, чем диаметр Солнца, в то время как расстояние между нашей планетой и Солнцем почти в те же 400 раз больше, чем между Луной и Землей. В результате маленькая Луна выглядит примерно равной по размеру с Солнцем и может при определенном положении полностью закрывать от нашего зрения его гигантский диск, вызывая тем самым полное солнечное затмение.

На Марсе ничего подобного произойти не может. Хотя Фобос и лежит много ближе к нему, чем Луна к Земле, диаметр Фобоса слишком уж мал, чтобы закрывать собою весь видимый диск Солнца. А уж о крошечном Деймосе и говорить нечего. Поэтому на Красной планете можно увидеть только прохождение спутников по диску светила, но не его затмение.

Теперь попробуем «высадиться» на любом из этих спутников и оттуда взглянуть на Марс. Красная планета закроет огромный участок видимого нам неба. Даже с более удаленного Деймоса угловой диаметр Марса представится близким к $16^{\circ}5$. Для сравнения: угловой диаметр Луны, как мы ее обычно видим, не превышает и половины градуса. Человеку, залетевшему на Фобос, видимый диаметр Марса представится

близким к 42° , так что полярные районы планеты он вообще оттуда не увидит. Соответственно, из полярных районов Марса нельзя увидеть Фобос.

Плотность Фобоса (немного больше 2 г/см^3) известна. А это позволяет нам определить силу тяготения, то есть, говоря проще, вес предметов на его поверхности. Оказывается, что эта сила очень мала: средний человек весом 60 кг на Фобосе «потянул» бы на пружинных весах (рычажным весам сила тяжести безразлична) всего граммов тридцать! Это сильно облегчит будущему космонавту попытки взлететь с Фобоса. Для этого ему потребуется лишь такое мускульное усилие, которое на Земле нужно для прыжка на высоту два с половиной метра. Правда, спортсмена, который взял бы 2,5-метровую планку, среди нас пока нет. Но все же уйти в мировое пространство без каких-либо ракет, чуть ли не просто поднатужившись в прыжке, — может быть, с фибергласовым шестом в руках, — перспектива впечатляющая...

Однако вернемся на родную Землю, чтобы взглянуть оттуда. У науки нет такого способа, чтобы с Земли прямым наблюдением измерить угловые размеры столь малых тел, как Фобос и Деймос. Значит, и линейные их размеры таким образом не определить. Остается судить об этом по косвенному признаку — по их яркости. Холл оценил яркость свечения Фобоса и Деймоса как близкую к 10-й и 12-й звездной величине соответственно. Позднее выдающийся советский ученый член-корр. АН СССР С. К. Костинский (1867—1936), один из основоположников астрофотографии, сделал другую оценку. Основываясь на фотографиях, выполненных при помощи астрографа Пулковской обсерватории, он определил звездную величину Фобоса в $11^m,6$, а Деймоса в $12^m,3$. Другие исследователи называли иные, хотя и близкие величины (например, $11^m,5$ и 13^m).

Следует, однако, помнить, что определение яркости этих небесных тел — дело очень нелегкое: крайняя близость довольно яркого Марса препятствует наблюдениям. Кроме того, прямое сравнение яркости спутников с яркостью планеты — не очень-то надежный путь к определению их размеров. Марс, как известно, имеет отчетливый красный оттенок, а крошечный размер спутников не позволяет определить их подлин-

ный цвет. Предположим, что их поверхности отражают солнечный свет с такой же интенсивностью, как поверхность Марса (то есть около 15%). Исходя из этого самые совершенные оптические средства докосмической эры позволяли лишь сказать, что диаметры обоих спутников Марса близки к 10—20 км. Затем, постепенно уточняя вычисления, специалисты установили диаметр Фобоса в 16 км, а Деймоса — что-то около 8 км. Точность небольшая, но пока меньших по размерам естественных спутников в нашей Солнечной системе наука не знает. Будь они «принадлежностью» более удаленных планет, Юпитера или Сатурна, наблюдать их с Земли было бы совсем невозможно.

В 1969 г., том самом, когда люди впервые высадились на Луне, американская автоматическая межпланетная станция «Маринер-7» передала на Землю фотографию, на которой случайно оказался Фобос, причем он был четко различим на фоне диска Марса. Более того, на фотографии была заметна тень Фобоса на поверхности Марса, и эта тень была не округлой, а вытянутой!

Через два с лишним года Фобос и Деймос были специально сфотографированы станцией «Маринер-9». Были получены не только телеснимки с хорошим разрешением, но еще и первые результаты наблюдений при помощи инфракрасного радиометра и ультрафиолетового спектрометра.

«Маринер-9» подошел к спутникам на расстояние около 5000 км, поэтому на снимках различались объекты с поперечником в несколько сотен метров. Действительно, оказалось, что форма Фобоса и Деймоса чрезвычайно далека от правильной сферы. Конечно, и Земля — далеко не правильный шар, но спутники Марса уж совсем не напоминали эту «удобную» и «идеальную» фигуру! Более всего они напоминают вытянутую картофелину.

Телеметрическая космотехника позволила уточнить размеры этих небесных тел, которые теперь уже существенным изменениям не подвергнутся. По новейшим данным, большая полуось*) Фобоса составляет 13,5 км,

*) Полуось представляет собой радиус, а не диаметр.

а Деймоса — 7,5 км, малая же — соответственно 9,4 и 5,5 км.

Будь на этих небесных телах какие-нибудь объекты площадью, скажем, с футбольное поле, они уже не смогли бы укрыться от нас. Впрочем, там есть объекты и покрупнее. Например, горы высотой до 1500 м, что для столь малых небесных тел означает в масштабе вершину много выше нашего Эвереста (Джомолунгмы). Поверхность спутников Марса оказалась крайне пересеченной: они практически все испещрены гребнями и кратерами, имеющими, очевидно, ударное происхождение; ведь существование вулканов на этих крошечных обломках камня не в состоянии представить себе даже самые ярые сторонники вулканизма на Луне, где кратеры тоже в изобилии. Вероятно, падение метеоритов на незащищенную атмосферой поверхность, продолжавшееся чрезвычайно долгое время, могло привести к такой ее изборожденности.

Снимки «Маринера-9» дали возможность увидеть 70% поверхности Фобоса и 40% поверхности Деймоса. Это позволило сотруднику Лаборатории реактивного движения в Пасадене (Калифорния) Т. Даксбери составить карту Фобоса (рис. 3).

Ну, а если есть «горы и доли», то человек, со свойственной ему нетерпимостью к безымянщине, должен был присвоить им названия. В 1973 г. XV съезд Международного астрономического союза в Сиднее принял решение, что уже открытые мелкие кратеры будут пронумерованы и что один из самых больших кратеров на Фобосе, расположенный в его южном полушарии, будет отныне носить имя Э. Холла. Не забыта и настойчивость супруги первооткрывателя, Хлои Энджелины, давшей ему ценный совет; ее девичьей фамилией — Стикни — назван крупнейший кратер, лежащий на самом экваторе Фобоса. Отходящий от этого кратера огромный (по местным масштабам), высотой более 1,5 км и протянувшийся на 120° по долготе вал носит теперь имя Кеплера, пусть не очень отчетливо, но предсказавшего существование у Марса спутников; еще один кратер почтен именем Д'Арре, хотя и не открывшего их, но сузившего область поисков; третий увековечил имя Роша, из вычислений которого следует неизбежная гибель этого небесного тела...

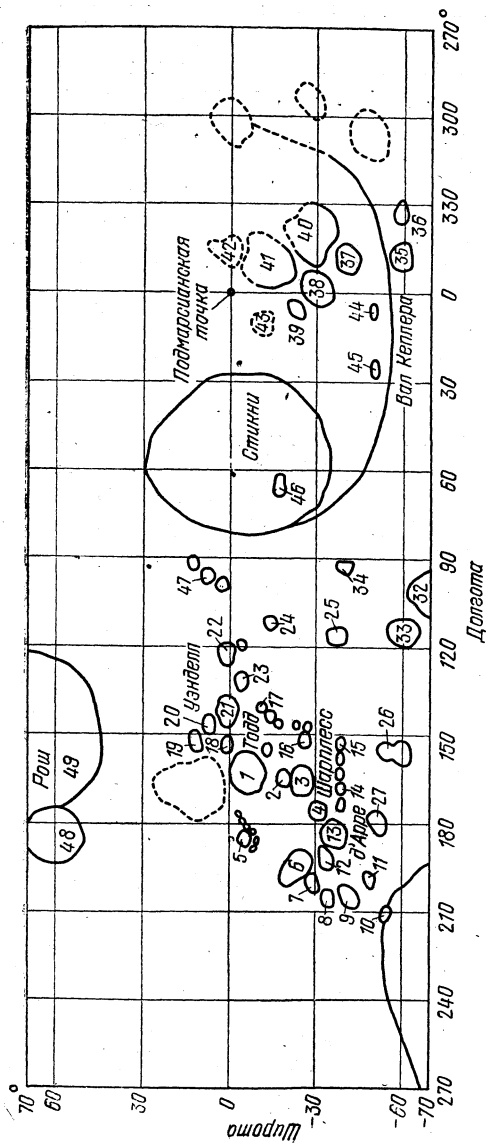


Рис. 3. Первая карта Фобоса. Все координаты отсчитываются от «подмарсианской точки». Мелкие кратеры пронумерованы, крупные носят имена выдающихся людей. (По Т. Даксберга.)

Одновременно родилась и «география» Деймоса. Как нельзя более к стати один из его кратеров теперь носит имя Свифта, а другой — Вольтера, чья фантазия провидела сквозь века и миллионы километров.

Никакая география не может обойтись без системы координат. За экватор Фобоса астрономы решили принять плоскость орбиты спутника, а за нулевой фобосианский меридиан — тот, который проходит через точку пересечения линии, соединяющей центр спутника с центром Марса.

По стопам географического обследования следует топографическая съемка. Ее сделали возможной автоматические межпланетные станции «Викинг-1» и «Викинг-2», которые посетили окрестности Марса в 1977 г. Снимки Фобоса на этот раз были сделаны с расстояния в 877 км. На самых лучших фотографиях разрешение достигло 5 м.

На снимках отлично видны не только кратеры, но и характерные горки, возвышающиеся в их середине. Такие центральные горки обычны и на Луне, только там они, конечно, куда крупнее. Селенологи считают их свидетельством того, что кратеры порождены не вулканами, а падением метеоритных тел, пробивших поверхность Луны и давших возможность выплеснуться из ее недр раздробленной материи, которая потом ссела. Возможно, что так же обстояло дело и на марсианской луне.

Кто вспахал Фобос?

Но вот еще одна черта топографии Фобоса пока еще нигде более не встречалась. Речь идет о каких-то загадочных глубоких бороздах, как бы нанесенных на его поверхность пахарем, неведомым, но очень аккуратным. При этом, хотя они и покрывают собой более половины поверхности спутника, известной нам по фотографиям, все такие «гряды» сосредоточены только в одном районе Фобоса в северной его части.

Борозды эти тянутся на десятки километров, ширина их на разных участках колеблется от 100 до 200 м, глубина тоже неодинаковая в различных местах. Но в среднем она заключается в пределах между 20 и 90 м. Как эти борозды образовались? Одни ученые во

всем винули притяжение Марса, которое могло исказить лицо спутника такими морщинами. Действительно, основная система борозд расположена концентрически относительно большой полуоси Фобоса, направленной в сторону планеты. Это и наводит на мысль, что они возникали в результате растяжения спутника под воздействием тяготения Марса.

Но известно, что в начальную эпоху своего существования Фобос находился дальше от своего центрального тела, чем ныне. Лишь примерно 1 миллиард лет назад, постепенно сближаясь с Марсом, он стал реально ощущать его приливную силу. Следовательно, и борозды могли возникнуть не раньше, а это противоречит данным, согласно которым возраст борозд много больше и, может быть, составляет 3 миллиарда лет. Кроме того, гравитационное воздействие Марса на Фобос продолжается и сегодня; значит, на его поверхности должны бы существовать совсем свежие борозды, однако их там нет.

Другие ученые считали, что борозды нанесены на поверхность спутника обломками породы, выброшенными из какого-то еще неизвестного крупного кратера. Его, правда, на снимках, охватывающих участок около 48×9 км, не видно, но, судя по всему, такой кратер может находиться хотя и за кадром, но недалеко от его границы.

Очень может быть, что их породил крупнейший из видимых — кратер Стикни, вокруг которого в основном сосредоточены борозды, когда Фобос столкнулся с иным небесным телом. Или же не с одним сравнительно крупным, а с целым скоплением мелких тел. Действительно, рой небесных «булыжников», в принципе, мог бы оставить на «лице» Фобоса глубокие шрамы.

Часть борозд выглядит как цепочка близко расположенных маленьких кратеров, подобных тем, что могут быть выбиты падением низко летящих обломков, выброшенных при столкновении с более крупным телом. Некоторые борозды, по-видимому, обладают приподнятыми краями; может быть, в момент их образования из недр вырвались мощные скопления газа...

Однако не все с этим согласились. Часть специалистов считает более правдоподобной другую гипотезу, согласно которой вначале была единая большая про-

толуна Марса. Потом этот «родитель» обоих «братьев» — Фобоса и Деймоса — раскололся на два нынешних спутника, и борозды — следы такого катаклизма. Однако где же тогда подобные борозды на поверхности Деймоса? На снимке, полученном орбитальным отсеком «Викинга-2» с беспрецедентно близкого расстояния — всего с 50 км, различимы детали с поперечником, не превышающим 3 м, но ничего подобного на фотографии нет.

— Мало ли чего там нет, — возражали оппоненты. Действительно, на Деймосе вообще нет такой сплошной изборозженности поверхности, как на его более крупном собрате. Ведь, судя по всему, кратеры и там должны быть в изобилии, но в действительности, их там, как будто, не так уж много...

Спор «за» и «против» еще шел, когда астроном Дж. Веверка из Корнеллского университета (штат Нью-Йорк, США) закончил анализ первых цветных фотографий, присланных на Землю орбитальным отсеком «Викинга-2». На них поверхности Фобоса и Деймоса окрашены в темные цвета. Опыт подсказывает специалистам, что такая окраска чаще всего бывает свойственна породам, содержащим много углеродистых веществ. Но в тех относительно близких областях Солнечной системы, где пролегает орбита Марса с его спутниками, углеродистые вещества в обильных количествах не образуются. Значит, Фобос и Деймос, скорее всего, «пришельцы», а не «туземцы».

Если они, действительно, сформировались где-то в сравнительно далеком уголке Солнечной системы (скорее всего, — в поясе астероидов между Юпитером и Марсом), то к моменту, когда их захватило поле тяготения Красной планеты, они, по всей видимости, еще представляли собой единое тело, которое затем раскололось на несколько обломков. Часть этих обломков упала на поверхность Марса, часть ушла в космос, а два обломка стали спутниками планеты.

Осенью 1977 г. рядом с Фобосом прошла межпланетная станция «Викинг-1». Естественно, что ее траектория слегка искривилась под влиянием притяжения Фобоса. Это позволило установить, что средняя плотность его материи составляет около 2,1 г/см³. Но такой же плотностью обладают и падающие иногда к нам на Землю углистые хондриты — каменные метеориты,

близкие по составу к первичному веществу, из которого некогда образовались планеты Солнечной системы. (Хондритами они называются потому, что по всей их массе рассеяны шарики, или «зерна» — по-гречески «хондрос».)

Альbedo (отражающая способность; о нем подробнее будет рассказано ниже) поверхности Фобоса — около 4%; это очень небольшая величина (у Луны, например, среднее альbedo по крайней мере вдвое выше), что позволяет сопоставлять Фобос с углистыми хондритами и их «прародителями» астероидами...

Однако следует прислушаться и к оппонентам, отвергающим возникновение спутников Марса путем захвата ранее самостоятельного тела и разлома его. Эти специалисты указывают, что поверхность Фобоса и Деймоса сплошь, «до насыщения», усеяна кратерами. Значит, возраст спутников очень велик: сравнительно недавно обнажившуюся при разломе поверхность метеориты не успели бы так обработать; не столь уж часто они падают. Кроме того, если бы спутники были захваченными Марсом небесными телами, говорят эти оппоненты, орбиты Фобоса и Деймоса были бы не круговыми, а вытянутыми. И наклон этих орбит к плоскости экватора Марса, в действительности составляющий у одного всего лишь 1° , а у другого $2^\circ,7$, был бы куда большим.

Советские специалисты Е. Л. Рускол и В. С. Сафонов (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Академии Наук СССР) развивают идеи основателя своего Института. Крупнейший космогонист академик О. Ю. Шмидт (1891—1956) разработал в свое время гипотезу образования нашей Солнечной системы, согласно которой планеты возникли путем аккреции («слипания») твердых и газообразных частиц, первоначально составлявших протопланетное облако.

Советские последователи О. Ю. Шмидта считают, что и спутники планет образовались аналогичным образом. Рой частиц, вращавшихся вокруг планеты, пополняемый из «запасов» таких же частиц, существовавших вокруг Солнца, постепенно редел: мелкие частицы постоянно сталкивались друг с другом и слипались, как снежный ком, образуя спутник. Весомым подтверждением их правоты служит подробная математическая модель, показывающая, как именно могут

происходить такие процессы. Захват же планетами особенно крупных небесных тел эти исследователи считают весьма маловероятным событием.

Кратеры на Фобосе и Деймосе по размерам чуть ли не равны самим спутникам. Значит, столкновения были для них катастрофическими событиями. Форма спутников очень неправильная: иначе, как обломочной, ее и не назовешь. Следовательно, Фобос и Деймос, в принципе, могут быть фрагментами некогда существовавшего более крупного тела.

Удалось даже прикинуть приблизительные размеры этого тела. Если бы его радиус достигал примерно 400 км, то «бомбардировка» не привела бы к его разрушению и вокруг Марса сегодня обращались бы тела размером не в десять-пятнадцать, а в сотни километров.

Можно также предполагать, что расстояние, на котором «предок» Фобоса и Деймоса обращался вокруг Марса, было большим, и лишь столкновения с другими телами не только раскрошили его, но и приблизили к планете. Впрочем, об этом мы еще знаем недостаточно.

Есть и еще одна гипотеза, связанная с поясом астероидов. Не исключено, что в далекие времена какой-то астероид залетел в атмосферу Марса, затормозился ею и превратился в его спутник. Однако очень уж плотна должна была бы быть для этого марсианская атмосфера.

Как видим, сторонники противоречащих друг другу гипотез возникновения спутников Марса обладают весомыми аргументами, и дело времени решать, кто же из них прав.

Одним из важнейших открытий космической эры является подтверждение существования солнечного ветра. Это могучие потоки заряженных частиц, извергаемые Солнцем. Со сверхзвуковой скоростью несутся они в космическом пространстве, обрушиваясь на все, что встретится на их пути. И только те небесные тела, которые, подобно нашей Земле, обладают достаточно сильным магнитным полем, служащим прочным щитом от такого потока, не подвергаются в полной мере воздействию солнечного ветра.

По тому, как взаимодействует солнечный ветер с небесным телом, можно в немалой степени судить о природе, внутреннем строении и даже истории развития

этого тела. Поэтому в задание советских межпланетных станций «Марс-2» и «Марс-3», запущенных в 1971 и 1972 гг., был включен пункт: наблюдать, как солнечный ветер взаимодействует с Красной планетой. Станции прислали на Землю сведения, согласно которым солнечный ветер не доходит до поверхности Марса, а натывается на преграду и начинает обтекать планету со всех сторон. Это обтекание начиналось то ближе к Марсу, то дальше от него (в зависимости от силы «нападающих» частиц и от сопротивления «обороняющегося» магнитного поля планеты), но в среднем расстояние от центра планеты составляло около 4800 км.

В 1974 г. к Красной планете подошла советская автоматическая межпланетная станция «Марс-5». Она в основном подтвердила «донесения» первых разведчиков, но одновременно дополнила их своими, содержащими некоторые странности. Ученых удивило, что в определенной области околомарсианского космического пространства скопление ионов в десять с лишним раз меньше, чем в других. Да и энергетический спектр этих заряженных частиц совсем иной.

Странная область не оставалась на одном месте. Когда ее перемещения были исследованы, оказалось, что она движется... вместе с Деймосом, все время «прячась» за его спиной на расстоянии около 20 000 км.

Тогда изучавший столь необычное явление советский астрофизик А. В. Богданов и высказал предположение, что именно этот спутник несет полную ответственность за наблюдаемые странности. Очевидно, заключил он, с поверхности Деймоса все время идет сильное выделение газов, которые взаимодействуют с окружающим его пространством. Когда Деймос проходит непосредственно между Марсом и Солнцем, область столкновения солнечного ветра с магнитосферой Марса удаляется от планеты, как будто «обороняющаяся» сторона, получив подкрепление, может отогнать «наступающих», и размер марсианской магнитосферы становится значительно больше. А ведь до сих пор казалось, что малые тела нашей Солнечной системы, такие, как, например, астероиды или небольшие спутники планет, подобные Деймосу, на мощный поток солнечного ветра воздействовать бессильны...

В октябре 1977 г. орбитальный отсек «Викинга-2» превратился в искусственный спутник Марса и сблизился с Деймосом, как уже говорилось, до расстояния в 50 км. Мало того, с 5 октября орбита самого «Викинга» подверглась по команде с Земли такой коррекции, чтобы каждые пять суток он приходил на еще более близкое «свидание» с Деймосом: 15 октября они вообще находились всего в 26 км друг от друга. Теперь уже разрешение достигло одного метра!

Прежде всего подтвердилась некая странность: крупные кратеры, диаметр которых превышает 500 м, на Деймосе встречаются примерно так же часто, как и на Фобосе. А вот мелких кратеров, которыми Фобос прямо-таки усыпан, на Деймосе весьма мало.

Как это понимать? Неужели метеоритная бомбардировка происходит выборочно? Ни в коем случае... Просто поверхность Деймоса усеяна мелкораздробленными камнями и пылью, и мелкие кратеры засыпаны до краев. Вот и выглядит поверхность Деймоса более гладкой.

Однако ведь и это нельзя считать исчерпывающим объяснением: возникает вопрос, почему же, фигурально выражаясь, никто не засыпает котлованы на Фобосе?

Интересную гипотезу по поводу такого различия предложил Дж. Веверка. И Фобос и Деймос подвергаются мощной метеоритной бомбардировке — ведь атмосферы, которая послужила бы надежным щитом, у них нет. При ударе метеоритного тела о поверхность Фобоса образующаяся пыль и мелкие камни в большей части улетают с его поверхности: сильное тяготение сравнительно близкого Марса «отбирает» их у спутника.

А Деймос находится от планеты куда дальше, поэтому выброшенные при падении на его поверхность метеоритные камни и пыль в значительной мере зависают на орбите Деймоса. Возвращаясь в прежнюю точку орбиты, «Ужас» постепенно снова собирает осколки и пыль, они оседают на его поверхности и погребают под собой многие свежие кратеры и в первую очередь те, что помельче.

Верхний рыхлый слой Луны, Марса, его спутников, та часть их поверхности, которой на Земле соот-

ветствует почва, именуется реголитом. Теперь можно считать установленным, что реголит марсианских лун сходен с тем, что наблюдается на нашей «земной» Луне. Как тут, так и там он возникает, когда в вакууме каменистое тело постоянно «обрабатывается» ударами метеоритов.

О присутствии такого реголита на Фобосе и Деймосе говорят фотометрически и поляриметрические измерения, но, пожалуй, наиболее убедительными здесь являются наблюдения термических (тепловых) их свойств в инфракрасной части спектра. На борту «Маринера-9», вышедшего на свидание с Марсом в 1971 г., был установлен инфракрасный радиометр, который «осмотрел» Фобос как раз тогда, когда он примерно на 50 мин вошел в тень, отбрасываемую Марсом. Оказалось, что тепловая инерция поверхности Фобоса очень мала; такой низкой она может быть только в случае, если эта поверхность сплошь состоит из пыли. Ни пористая, ни скальная поверхность не могут обладать такой низкой теплопроводностью. О том, какая мощность должна быть у этого пылевого слоя, пока судить трудно, но, во всяком случае, его толщина никак не меньше 1 мм.

Вообще-то присутствие реголита на Фобосе и Деймосе ученых сначала удивило. Ведь вторая космическая скорость, по достижении которой любой предмет уходит в межпланетное пространство, на таких мелких небесных телах составляет всего каких-нибудь 10 м/с. (Вспомним, что вторая космическая скорость на нашей Земле в тысячу раз больше!) Поэтому при ударе метеорита любой булыжник становится здесь «космическим снарядом».

Подробные снимки Деймоса позволили обнаружить пока еще не объясненный факт: оказывается, некоторые кратерные валы и примерно десятиметровые каменные глыбы, рассеянные по поверхности Деймоса, украшены длинным шлейфом. Эти шлейфы выглядят как довольно длинная полоса, образованная как бы выброшенным из глубины мелкозернистым материалом. Нечто подобное есть и на Марсе, но, кажется, там эти полосы выглядят несколько иначе. Во всяком случае, специалистам опять есть над чем поломать голову...

Свежие снимки Деймоса подтвердили: борозд на нем нет. И снова заработала мысль ученых, бьющихся над этой загадкой. Группа астрономов, руководимая П. Томасом, выступила с гипотезой, согласно которой все дело в кратере Стикни — наибольшей «яме» на Фобосе, подобной которой на Деймосе нет; там ведь самый крупный кратер едва достигает в диаметре 3 км. Томас высказал осторожное предположение, что когда кратер Стикни возник (а это было целым катаклизмом для небольшого небесного тела), в недрах Фобоса образовались трещины или разломы. Некоторые из них, прямо-таки глобальные в местном масштабе, достигли поверхности и проявляются как наблюдаемые нами борозды.

А приливные воздействия Марса здесь вовсе не при чем, — им противоречат глобальный характер, морфология, распределение и возраст самих борозд. Самое же большее углубление на поверхности Деймоса, в южном его «полушарии», на кратер не очень похоже. Скорее всего, согласно мнению сторонников этой гипотезы, оно осталось в качестве «шрама», когда Деймос в незапамятные времена отделялся от более крупного небесного тела...

Тщательная обработка снимков, сделанных «Викингом-2», что называется, в упор, дала ученым в руки такие сведения о Деймосе, о которых раньше и не мечтали. Оказалось, что светлые пятна вокруг его кратеров, обнаруженные еще «Маринером-9», — это отложения мелкораздробленного материала, вероятно, выброшенного при их образовании. Но вот нерешенная загадка: почему все эти камни и пыль не улетели совсем с такого небольшого тела, как Деймос? Однозначного ответа пока нет.

Так спор о бороздах, начавшийся, казалось бы, с частных вопросов, перешел в область куда более фундаментальную — к вопросам происхождения малых тел Солнечной системы. Спор этот все еще идет, и загадка возникновения борозд и шлейфов пока еще остается не раскрытой. Но ведь всего несколько лет назад сам предмет этой загадки был еще неизвестен. Не говорит ли это еще раз о том, что процесс познания так же безграничен, как и сама познаваемая нами Вселенная?

В 1945 г. астроном Б. П. Шарплесс на Морской обсерватории в Вашингтоне, собрав ряды старых наблюдений Фобоса, выполненных в Пулкове еще в XIX в. Г. О. Струве, сопоставил их с более поздними наблюдениями других исследователей и пришел к убеждению, что у Фобоса в его движении вокруг Марса существует вековое ускорение. А это значило, что спутник движется все скорее по очень-очень пологой спирали, постепенно тормозясь и все ближе подходя к поверхности планеты. Может возникнуть вопрос: как совместить эти два понятия — «тормозится» и «ускоряется»? Но это кажущееся противоречие объясняется просто: торможение вызывает снижение орбиты спутника, а это, в соответствии с законами Кеплера, сокращает период времени, уходящего на каждый виток, то есть ведет к повышению скорости.

Подсчеты Шарплесса показали, что если ничего не изменится, то за какие-нибудь 15 миллионов лет Фобос упадет на Марс и погибнет. Мало кого взволновали тогда такие пророчества, которые сбудутся неизвестно когда и относятся к очень далеким объектам.

Но вот наступил космический век, и человечеству стали ближе проблемы астрономии. О процессах торможения искусственных спутников в атмосфере Земли узнали широкие массы. Ну, а так как атмосфера есть и у Марса, правда, очень разреженная, то не может ли она своим трением вызывать вековое ускорение Фобоса? Этот вопрос поставил И. С. Шкловский. В 1959 г. он выполнил соответствующие вычисления и сделал вывод, вызвавший брожение как в умах ученых, так и (еще большее) в умах широкой публики.

То вековое ускорение, что мы наблюдаем в условиях разреженной верхней атмосферы Марса, может быть объяснено только, если предположить у Фобоса очень малую плотность, такую малую, которая не позволила бы спутнику развалиться на куски, если он... полый.

— Пустой внутри спутник! Естественный? — Невероятно... Значит, Фобос — дело рук (конечностей? щупальцев?) марсиан? Такими сенсационными пред-

положениями запестрели некоторые популярные издания.

Как и подобает ученому, И. С. Шкловский не делал безапелляционных утверждений; он и сам считал поставленный им вопрос «весьма радикальным и не совсем обычным» предположением.

Однако наблюдаемый эффект требует же какого-то объяснения. Иначе, чем оправдать сопротивление столь разреженной воздушной среды, если одновременно не представить себе спутник подобием воздушного шарика (объем велик, а масса мала), которому так немного нужно, чтобы потерять всякую инерцию движения?

Предстояло искать другое объяснение. Его вскоре предложил видный геофизик чл.-корр. АН СССР Н. Н. Парийский (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР). Будучи специалистом по приливам, он увидел причину в явлениях, связанных именно с ними.

Как известно, приливы бывают не только на море, но и в твердом материале, слагающем планету. На Земле они дважды в сутки вызывают подъем и опускание коры, достигающее 0,5 м: земная кора «дышит». Марсианская кора тоже «дышит», хотя и не так «глубоко»: подъем ее и опускание достигают нескольких миллиметров. Зато «вдох» и «выдох» здесь происходят вдвое чаще — ведь Фобос обегает Марс быстрее, чем Луна Землю. Да и расположен Фобос куда ближе к своей планете, чем Луна к Земле.

Такое интенсивное «дыхание» требует немалой затраты энергии, и возмещать ее природа вполне может, притормаживая Фобос в его орбитальном движении. Здесь уже концы сошлись с концами и без экзотической гипотезы, связанной с полостью внутри небесного тела, и тем более без искусственности его происхождения.

Казалось бы, все объяснилось к общему удовлетворению. Но девизом науки недаром всегда было: «проверяй и перепроверяй». В 1967 г. англичанин Дж. Уилкинс выполнил новый анализ движения Фобоса, положив в его основу наблюдения, сделанные как в 1877—1929 гг., так и в последнее десятилетие. И что же? — Оказалось, что Фобос не обладает никаким вековым ускорением! Вскоре Уилкинса поддержала советский астроном С. Н. Вашковьяк, которая

предложила более совершенную теорию движений спутников Марса, чем Г. О. Струве, и также пришла к выводу, что ускорения нет. И, наконец, в 1972 г. англичанин Э. Синклер, проанализировав более трех тысяч наблюдений местоположения Фобоса и Деймоса, сказал окончательное слово: «ускорение не существует».

Окончательное? — Не тут-то было! В 1973 г. ленинградский ученый В. А. Шор и его коллеги в Институте теоретической астрономии АН СССР завершили обработку свыше пяти тысяч исчерпывающих по полноте данных, собранных почти за целый век со дня открытия Фобоса и Деймоса. Выяснилось, что Фобос все же «ускоряется». Правда, значительно слабее, чем считал Шарплесс.

На этот раз «приговор» был окончательным и «обжалованию» не подлежал: теоретические выкладки советского ученого подтвердились при изучении материалов наблюдений, выполненных приборами на борту американской межпланетной станции «Маринер-9».

А раз ускорение есть, мы можем предсказать дальнейшую судьбу Фобоса: не более чем через 100 миллионов лет (а некоторые ученые считают — даже всего через 20 миллионов лет) он так сблизится с Марсом, что пересечет гибельный предел Роша и будет «растерзан» приливными силами. Часть обломков погибшего спутника упадет на Марс, а часть, вероятно, представится нашим отдаленнейшим потомкам в виде красивого кольца, подобного тому, которым ныне славится Сатурн.

Что же касается Деймоса, то здесь ни у кого сомнений нет: вековым ускорением он не обладает. Ведь этот спутник и размерами меньше, и удален от Марса дальше, чем Фобос. Поэтому его приливное воздействие на планету в 120 раз слабее. Надо добавить, что Деймос делает один оборот вокруг Марса не так быстро, вследствие чего горб приливной волны от него по поверхности планеты ползет в 12 раз медленнее, чем горб «фобосовский».

А нет ли у Марса еще каких-либо спутников, доселе неизвестных? Этот вопрос поставил перед собой Дж. П. Койпер, директор Лунно-планетной обсерватории при Университете штата Аризона. Для того, чтобы ответить на него, он разработал специальную фото-

графическую технику, позволяющую улавливать даже очень слабо светящиеся объекты. Все его исследования не привели к открытию нового спутника Марса. Но они позволили сказать: если такое небесное тело существует вне орбиты Фобоса и ему присуще альбеда около 0,05, то его диаметр никак не может быть более чем 1,5 км; иначе мы его уже разглядели бы.

Затем поиски неведомого спутника Марса проводил сотрудник Эймсовского исследовательского центра НАСА (Национального управления аэронавтики и изучения космоса США) в Калифорнии Дж. Б. Поллак. Изучение девятнадцати крупных телевизионных изображений, присланных из околomarсианского пространства (большей частью из окрестностей Фобоса) «Маринером-9», дало ему право утверждать, что, пожалуй, даже спутник с диаметром 250 м был бы уже замечен, если он там есть. Правда, изученные Поллаком снимки охватывают далеко не всю область, где спутник мог бы укрываться от человеческого взора, но все-таки вероятность его существования нынче уже совсем невелика. Так что по-прежнему можно считать, что лишь Страх и Ужас сопутствуют небесному воплощению бога войны.

Итак, мы закончили обследование Марса и его спутников. Дорога познания зовет нас дальше, в странный мир гигантского Юпитера и его многочисленной небесной семьи.

Мир Юпитера

Первое знакомство

Как уже говорилось в «Прологе», сама наука о спутниках родилась лишь тогда, когда Галилей, повернув свой телескоп в сторону Юпитера, увидел «крошечные звездочки», обращающиеся вокруг этой планеты. До этой исторической ночи с 7 на 8 января 1610 г. единственным спутником считалась извечно знакомая Луна.

«...Сперва я принял их за неподвижные звезды, — писал Галилей в своем «Звездном вестнике». — Однако они привлекли мое внимание тем, что лежали на прямой линии, параллельно эклиптике, и сверкали ярче, чем иные звезды. Две из них были к востоку от Юпитера, одна — к западу.

Однако, когда я на следующий день взглянул на них, я обнаружил, что они сгруппировались по-другому: теперь все три звезды лежали к западу от планеты и ближе к ней...»

«В десятый день, — продолжал великий астроном, — звездочки заняли такое положение, что только две из них можно было видеть, на этот раз — к востоку от Юпитера, и я заключил, что третья, должно быть, спрятана за планетой. Как и раньше, обе лежали на одной прямой с Юпитером. Так как я понял, что изменение в положении, которое я наблюдал, по всей вероятности, не связано с самим Юпитером, а также потому, что я был уверен, что звезды, которые я наблюдал, каждый раз были одни и те же, по мере размышления я все больше и больше убеждался, что видимые изменения в расположении не связаны с Юпитером, а являются движениями самих звездочек. В 13-й день января я в первый раз увидел четыре

звездочки, три к западу и одну к востоку от Юпитера; они образовывали более или менее прямую линию».

Однако несправедливо было бы безоговорочно утверждать, что Галилей был первым, кто совершил это незаурядное открытие. Одним из увлеченнейших наблюдателей звездного неба в то время был некий Симон Майер (1573—1642) из Гунценхаузена. Как это было нередко в век, когда латынь была общепринятым языком науки во всех странах, этот немецкий

Немецкий астроном и, как сказано на старинном портрете, «математик и медик» Симон Мариус (Майер), увидевший четыре спутника Юпитера за 10 дней до Галилея. Слова — схема юпитерианской системы,



астроном латинизировал свою фамилию. Под латинским именем Мариус он сперва прошел школу великого Тихо Браге в Праге, потом учился в Падуе, а с 1605 г. занял пост придворного астронома в Ансбахском маркграфстве.

Случай распорядился так, чтобы Мариус увидел луны Юпитера за десять дней до Галилея! Но осознать, что именно он наблюдает, Мариусу не было дано: он полагал, что перед ним всего лишь заурядные звезды. С 8 января 1610 г. он вел в своем дневнике наблюдений запись расположения этих небесных тел относительно Юпитера, чтобы затем определить их расстояния от планеты.

На стене Ансбахского замка сегодня можно видеть мемориальную доску, провозглашающую Майера-Мариуса первооткрывателем спутников Юпитера, но мы, не собираясь полностью отвергать его заслуги, все же

должны отдать пальму первенства Галилею, который сразу поместил увиденные объекты на приличествующее им место: Юпитер обрел спутники, а земная Луна перестала быть уникалом во Вселенной. С тех пор слово «сателлит», появившееся в результате заимствования из латинского языка и означающее «прислужник», стало астрономическим термином в западно-европейских языках. В русском языке ему соответствует слово «спутник». Более того, Галилей сразу сопоставил Юпитер и его спутники с Солнцем и планетами и заговорил о юпитерианской системе. Он показал, что Земля не является во Вселенной единственным центром, вокруг которого совершается движение небесных тел. Для очень многих в те времена это оказалось убедительным аргументом в пользу теории Коперника.

Согласно традиции, тот, кто открыл небесное тело, и служит ему «крестным отцом». Галилей наименовал спутники общим именем «Звезды Медичи» — в честь владык Флоренции, оказывавших ему покровительство. Однако название оказалось нескладным, да и не очень-то бескорыстным; во всяком случае, оно не прижилось.

А вот названия, предложенные Мариусом в 1614 г. после того, как он узнал, что это спутники, сразу стали общепризнанными (правда, наряду с порядковыми номерами). Немецкий астроном апеллировал к логике, мнемонике и... мифологии. Раз Юпитер — глава богов, то да пребудут вокруг его трона приближенные Громовержца. Начиная с ближайшего к поверхности планеты спутники получили имена Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто (рис. 4).

Греко-римская мифология является источником для названий объектов в Солнечной системе. Напомним, что римляне отождествили многих своих богов с греческими. Так, верховный римский бог Юпитер — это греческий Зевс. Все большие планеты Солнечной системы, кроме Урана и Плутона, названы именами римских божеств, а почти все спутники — именами греческих.

Ио — это имя одной из многочисленных возлюбленных Зевса, которую он, спасая от гнева своей ревливой супруги Геры, превратил в корову. Согласно одной из легенд, Ионическое море стало так называться, потому что несчастная, пытаясь спастись, переплыла его.

Кто не помнит картины В. Серова «Похищение Европы»? Преобразившийся в могучего быка Громовержец похищает прекрасную финикийку Европу, в испуге ищущую укрытия от морских волн на спине владыки Олимпа.

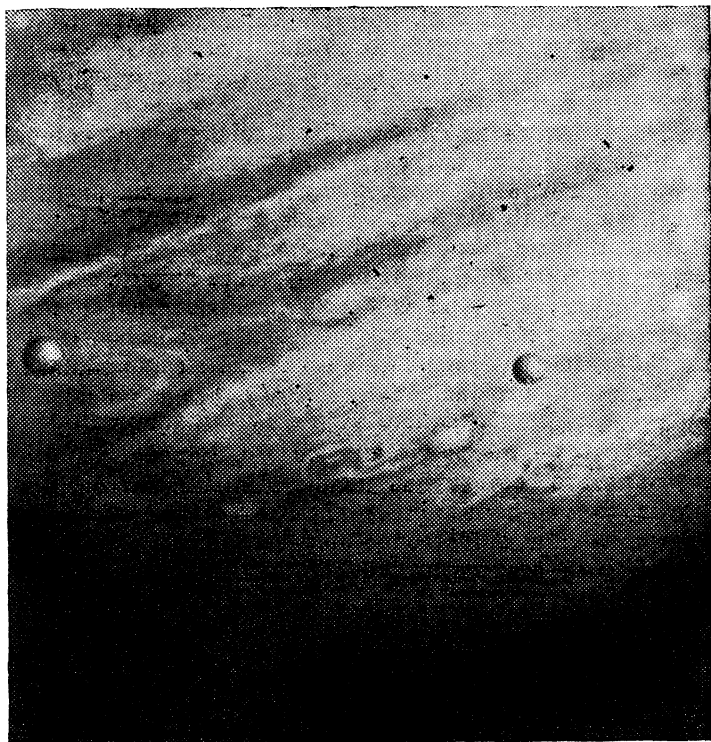


Рис. 4. На фоне облачного покрова Юпитера проходят его спутники Ио (слева) и Европа. Снимок сделан «Вояджером-1» 13 февраля 1979 г., когда он находился в 20 млн. км от планеты. Разрешение составляет около 400 км.

Юноша-виночерпий, прислуживающий Зевсу — красавец Ганимед изображен на полотнах Тициана и Рембрандта, изваян Микеланджело и Торвальдсенем...

Нимфу Каллисто превратила в медведицу Гера (по другому варианту богиня любви Афродита, в сви-

те которой была Каллисто). Зевс поместил ее на небе в виде созвездия Большой Медведицы...

С легкой руки Мариуса ближайшее окружение Зевса нашло свое воплощение на небе рядом с планетой. А как бы в утешение великому итальянцу все эти четыре небесных тела вместе взятые ныне официально именуются галилеевыми спутниками. Остальные спутники планеты-гиганта, которые были открыты значительно позже (и открываются еще и сейчас), также получили имена близких Зевсу-Юпитеру мифологических персонажей.

Однако пора из сказочной области мифов вернуться в трезвый мир астрономии. Галилеевы спутники — довольно яркие объекты, и трудность их наблюдения без оптического прибора происходит от другой причины: слишком сильно сияет в ночном небе сам Юпитер, и его свет заставляет блекнуть все вокруг.

Впрочем, иногда находятся люди со столь острым зрением, что им и яркость Юпитера не помеха. Об одном таком счастливце — бреславском сапожнике по фамилии Шён сообщает Гумбольдт, что само по себе является доказательством редкости подобного умения.

В течение почти трех веков Ио, Европа, Ганимед и Каллисто оставались единственными известными науке спутниками Юпитера. И открытие, сделанное лишь в 1892 г., естественно, произвело огромное впечатление. Был открыт пятый «компаньон» великой планеты!

В Сан-Франциско жил тогда некий строитель органов по имени Дж. Лик. Дело его процветало, и к концу дней Лик стал весьма богатым. Составляя завещание, он выделил 700 тысяч долларов на то, чтобы на «органные деньги» был сооружен совсем иной инструмент, а именно телескоп. Было поставлено лишь два условия: во-первых, инструмент должен быть крупнейшим в мире, а во-вторых, он должен носить имя щедрого мецената.

Таким вот образом на горе Гамильтон в Калифорнии, на высоте около 1300 м над уровнем моря, где воздух чист и прозрачен, возникла Ликская обсерватория, вооруженная 36-дюймовым (90 см) телескопом, и сегодня числящимся одним из наибольших рефракторов в мире.

В 1888 г. прибор вступил в строй, и не прошло и четырех лет, как он вознаградил тех, кто на нем работал, серьезным открытием. Успех пришел к Э. Э. Барнард (1857—1923), астроному-самоучке, не получившему систематического специального образования, но зато отличавшемуся замечательным упорством и исключительно острым зрением. В 24 года он, купив 5-дюймовый (13 см) телескоп, открыл первую в своей жизни комету. А всего за свою жизнь он обнаружил, ни много ни мало, шестнадцать комет, множество переменных, новых, двойных звезд, туманностей. Словом, он был одним из выдающихся астрономов-наблюдателей, и достижение его отнюдь нельзя считать случайностью.

Итак, мы застаем Барнарда около новенького телескопа на горе Гамильтон. «В пятницу (9 сентября 1892 г.) была ночь моего дежурства,—вспоминал он впоследствии.—Пронаблюдав Марс и измерив положения его спутников, я начал исследовать район непосредственно около планеты Юпитер. Около 12 часов... я заметил крошечное светлое пятно, следующее за планетой рядом с нею и вблизи третьего спутника... Я сразу заподозрил, что это — неизвестный спутник и начал немедленно измерять его угловое положение и расстояние от третьего спутника. Момент был такой горячий, что это казалось единственным способом определить положение нового объекта, ведь, попробуй я хотя бы чуть-чуть начать следить за планетой, светлая точка была бы немедленно потеряна.

Я дважды выполнил определение расстояния и один раз — угловое положение, а затем попробовал сопоставить его с Юпитером, но оказалось, что одна из проволочек микрометра лопнула, а другая ослабла. Прежде чем я успел что-либо сделать, объект быстро исчез в сиянии Юпитера. По тому факту, что он не отстал от планеты в своем движении, я пришел к выводу: это спутник. Нужно было тщательно наблюдать передний край лимба планеты, чтобы засечь новое появление спутника, но в дневном свете его уже разглядеть стало невозможно.

Хотя убежденность в том, что найден новый спутник, была твердой, необходима была крайняя осторожность; с объявлением следовало подождать до полного подтверждения.

Следующая ночь у телескопа принадлежала проф. Шеберле, но он любезно передал ее мне. Незадолго до полуночи спутник снова был обнаружен, когда он вышел из-за планеты. С утра я поставил новые проводочки на микрометр и теперь начал тщательные измерения положения... На утро телеграмма с объявлением об открытии была послана. Последующие тщательные наблюдения подтвердили его» *).

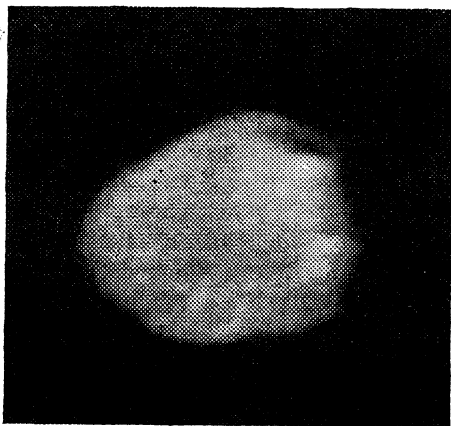


Рис. 5. Амальтея является самым большим из малых спутников Юпитера. Ее размеры — 265 на 150 км. По «вытянутости» своего тела Амальтея — «чемпион» всей Солнечной системы. «Вояджер-1» сделал ее снимок с расстояния 425 тыс. км.

Важнейшим среди таких подтверждений было сообщение из Пулково: здешний 30-дюймовый (75 см) рефрактор и его «жрецы» уже тогда пользовались заслуженно высоким авторитетом среди астрономов мира.

Первооткрыватель не воспользовался своим правом. Название спутнику дал французский популяризатор астрономии Камилл Фламарион (1842—1925). Он присвоил ему имя Амальтеи (рис. 5) — по одному варианту легенды — нимфы, а по другому — козы, вскормившей своим молоком все того же Зевса, когда его мать вынуждена была укрывать новорожденного сына

*) Журнал «Astronomy and Astrophysics», 1892, v. XI, Oct.

от необузданного гнева отца — бога Кроноса в пещере на Крите. Между прочим, сказочным рогом изобилия стал именно рог Амальтеи. И не этим ли мы обязаны тому, что впоследствии спутники великой планеты посыпались прямо как из этого самого рога?..

Пятую луну Юпитера с Земли невооруженным глазом не разглядит даже человек с наилучшим зрением. Ее и с телескопом наблюдать не так-то просто. Во-первых, свечение ее очень слабо (13-я звездная величина — это очень тусклый объект), а, во-вторых, это ближайшее к Юпитеру небесное тело, не выходящее из зоны его яркого света, так что без сильного инструмента (с объективом не менее 60 см) за такое дело и приниматься не стоит.

За двенадцать лет, истекших после открытия Амальтеи, сильное развитие получила фотография. Фотографические наблюдения стали неотъемлемым методом астрономических исследований. Поэтому нет ничего удивительного в том, что последующие открытия в системе Юпитера были сделаны благодаря ей.

Кроме того, начало нашего века совпало с подлинной революцией в деле изготовления телескопов-рефлекторов. Еще в 1859 г. выдающийся французский физик Жан Бернар Фуко (1819—1868), тот самый, что экспериментально доказал вращение Земли при помощи маятника, разработал метод изготовления крупных рефлекторов и предложил заменить тяжелые металлы в зеркалах легким стеклом, покрытым тонким слоем серебра, обладающего высокой отражающей способностью.

Позже все та же Ликская обсерватория получила в свое распоряжение телескоп с 90-сантиметровым зеркалом, изготовленным согласно методу Фуко. На фотографии, полученной с этим прибором в ночь на 3 ноября 1904 г., астроном Ч. Д. Перрайн открыл существование шестого спутника Юпитера.

Первое время, правда, были попытки «закрыть» спутник. Некоторые специалисты считали, что на пластинке зафиксирована одна из малых планет. Пока шли споры и собирались неопровержимые доказательства, Перрайн... открыл седьмой спутник. На фотографии, полученной при помощи того же телескопа во второй день только что наступившего 1905 г., он заметил точку, изображавшую еще более тусклый

объект, чем шестой спутник: тот имел 14-ю звездную величину, а этот лишь 16-ю. Орбиты обоих небесных тел были очень похожими одна на другую. Более семидесяти лет они оставались безымянными, и лишь в 1977 г. шестой спутник получил имя Гималия, а седьмой — Элара *). В это же время имена получили также VIII—XII спутники. Однако спутники, начиная с VI, астрономы чаще называют по номерам (на письме — латинской цифрой) в порядке открытия. Возможно, здесь сказывается то, что век общей романтизации и поэтизации уступил в науке времени более трезвой сухости...

После того как три спутника подряд были открыты на Ликской обсерватории, удача повернулась лицом к Гринвичу. Английский астроном П. Дж. Мелот ночью 27 января 1908 г. открыл восьмой спутник (Пасифе **). Это было немалым достижением, так как новый объект обладает очень слабой светимостью (всего лишь 17-я звездная величина). Если бы не фотографическая техника, открытие никогда бы не состоялось, ведь и по сей день наблюдать непосредственно Пасифе не сумел никто.

Здесь пора сказать несколько слов и о направлениях, в которых могут двигаться тела в нашей Солнечной системе: ведь не у всех оно совпадает. Давайте представим себя парящими высоко над северным полюсом Земли. Если мы отсюда взглянем на нашу планету, то увидим, что она вращается в направлении против часовой стрелки. Луна обходит Землю в том же направлении. Его-то астрономы и называли прямым.

Если какая-то планета (а такие есть в нашей системе), при взгляде на нее с северного полюса мира, вращается по часовой стрелке, то ее движение называют обратным. Таким же способом определяется прямое или обратное движение планетных спутников.

Большинство тел Солнечной системы имеет, как Земля и Луна, прямое движение. Это не случайность: когда вся система зарождалась, облако космической

*) В греческой мифологии имя Гималия носит одна из нимф; Элара — возлюбленная Зевса, породившая от него чудовище Тития.

(**) В мифологии в несколько ином варианте — Пасифая — это имя носит жена критского царя Миноса, мать полубыка-получеловека Минотавра.

пыли и газа, из которого она возникла, вращалось против часовой стрелки, и все возникавшие в этом процессе тела сохранили по инерции то же направление своего вращения.

Любопытно отметить, что при выборе имен для спутников в XX в. на астрономию повлияла не только мифология, но и... языкознание. Стремясь во все на свете ввести закон и порядок, немецкий филолог И. Блунк предложил тем вновь открываемым спутникам, которые обращаются в прямом направлении, давать имена, оканчивающиеся в латинском написании на «а» (в русском на «а» или «я»), а более редким, идущим как бы наперекор, — имена, оканчивающиеся на согласную букву или же на «е». Международный астрономический союз согласился с этим. Теперь, взглянув на их названия, читатель и сам почти безошибочно может судить, который из спутников «куда идет». Пасифе как раз обращается в обратную сторону.

Эта спутница громовержца оказалась лукавой лунной: через полтора десятилетия после первого знакомства людей с нею она внезапно исчезла. Многочисленные попытки астрономов всего мира, предпринимавшиеся с 1923 г. в течение семи лет, были безрезультатны — вновь сфотографировать Пасифе никому не удавалось.

В это время член-корр. АН СССР Б. В. Нумеров (1891—1941), человек, сделавший незаурядно много для развития ньютоновой науки — небесной механики, разработал свой весьма оригинальный метод, позволяющий точно предсказывать дальнейшее движение небесных тел по их прежнему движению. Авторитет Б. В. Нумерова, основателя и первого директора Вычислительного института АН СССР (ныне Институт теоретической астрономии) был очень велик. Когда он предложил создать эфемеридную *) службу малых небесных тел, его начинание было подхвачено. Пользуясь нумеровским методом вычисления эфемерид, сотрудница того же института Н. Ф. Боева (1890—1956) составила расписание движения VIII спутника, после чего наблюдатели эфемеридной службы, рабо-

*) Эфемериды — таблицы, дающие положение планет на любые избранные моменты времени.

тавшие на Ликской обсерватории, сумели изловить беглянку: 22 ноября 1930 г. Пасифе была снова обнаружена.

Перед Первой мировой войной на Ликской обсерватории работал никому не известный наблюдатель С. Б. Никольсон (1891—1963). Ему едва исполнилось 22 года, когда ночью 21 июля 1914 г. он дежурил у того же телескопа, при помощи которого за 21 год до того Барнард открыл Амальтею.

В ту ночь Никольсон никаких особых задач перед собой не ставил. Просто молодой астроном решил заснять давно известную Пасифе и выбрал для своего фотооборудования выдержку 2 ч 30 мин — ведь объект был очень тусклым. Никольсон хотел, чтобы Пасифе была видна на фотопластинке не как штрих, вызванный перемещением небесного тела, а как компактная точка. Поэтому он заранее рассчитал движение своего объекта и «приказал» телескопу следовать за ним.

И надо же было случиться, что в поле зрения прибора, недалеко от объекта наблюдения, как раз в эту ночь находился неведомый дотоле еще один спутник Юпитера! Да еще он и перемещался в ту же сторону, что Пасифе, так что на фотопластинке оказалась не одна точка, а две.

Если бы не это случайное совпадение в их орбитах, новичок Девятый оставил бы на пластинке коротенькую полоску света, да и то при условии, если бы он был поярче. А так как он имеет лишь 19-ю звездную величину, то, скорее всего, не был бы замечен вообще. Так в семье Юпитера появился еще один член: IX спутник был наречен Синопе *).

Однако необходимо сказать, что не в одном везении дело. У Никольсона впереди была еще большая жизнь: ему предстояло обнаружить несколько неизвестных науке астероидов, определить движения ряда комет, доказать, что в атмосфере Венеры практически нет кислорода, а поверхность Луны покрыта пылью, изучить связь физических процессов на Земле с появле-

*) Нимфа Синопе упоминается в древнегреческих мифах, но в свите не Зевса, а Аполлона, так что использование ее имени для спутника Юпитера вряд ли удачно. Еще менее правильным его следует признать, если для этого было взято название античного города Синопе в Пафлагонии (ныне турецкий город Синоп).

нием солнечных пятен. Наконец, ему предстояло, помимо Синопе, открыть еще три (1) спутника Юпитера и тем самым стать наравне с Галилеем: ведь никому из астрономов, кроме них двоих, не было суждено увеличить юпитерианский мир на четыре новых небесных тела. Так что, как говаривал А. В. Суворов, «Все везенье, да везенье... Когда-нибудь и уменье!»

В 1938 г. Никольсон, уже маститый ученый, был приглашен встать за пульт недавно введенного в действие Хукеровского телескопа в обсерватории Маунт Вилсон (Калифорния). Почти четверть века, истекшую со дня открытия последнего спутника Юпитера, наблюдательная техника отнюдь не стояла на месте. Главное зеркало Хукеровского телескопа имело в диаметре 100 дюймов (2,5 м), и по тому времени он был крупнейшим в мире; с его помощью можно обнаружить объекты даже 21-й звездной величины. Воспользовавшись этим и своим незаурядным опытом, Никольсон в течение одного месяца — июля 1938 г. открыл X (Лиситея) и XI (Карме) спутники Юпитера *).

А в 1951 г., когда ему вот-вот должен был пойти седьмой десяток, при помощи того же телескопа Никольсон открыл Ананке **) — двенадцатый спутник Юпитера. Положение небесного тела, зафиксированного на фотопластинках, позволило математику Каннингхему из Калифорнийского университета в Беркли рассчитать его орбиту. Однако дело не обошлось без путаницы. Сперва предположили, что это уже известная «крестница» Никольсона — Лиситея. Целый месяц ушел на проверки и перепроверки, пока спор не был улажен, и свита Юпитера получила общепризнанного двенадцатого члена.

Чуть ли не четверть века прошла в убеждении, что мир Юпитера насчитывает лишь двенадцать спутников. Но вот в сентябре 1974 г. американский астроном Ч. Коваль ***) сформулировал себе скромную цель:

*) Мифы называют Лиситею матерью бога виноделия Вакха (Диониса), а Карме — матерью почитаемой критянами богини Луны. Отцом и Вакха и Карме был Зевс.

**) Это имя в мифологии носит божество, олицетворяющее судьбу.

***) В нашей литературе иногда встречаются англоизированные написания этой фамилии: «Ковал», «Коуэл» и даже «Коуел». Такие написания фамилии, имеющей украинско-польское происхождение, неверны.

сфотографировать заново давным-давно открытые тела юпитерианской системы, чтобы уточнить их орбиты.

Объекты этих наблюдений очень малы, светятся они чрезвычайно слабо, а сам Юпитер — колосс, сильно отражающий солнечные лучи, и в его сиянии разглядеть их и зафиксировать не так-то легко. Пришлось Ковалю поставить перед фотопластинками частично закопчённое стекло, чтобы затемнить слишком яркую «родительскую» планету, а выдержку увеличить до двух часов.

Три холодные сентябрьские ночи провел астроном без сна в башне 48-дюймового (120 см) телескопа на горе Паломар в Калифорнии. Огромная камера системы Шмидта сама неотступно следила за перемещением спутников по небосводу, так что изображения неподвижных звезд на пластинках выглядели как длинные штрихи, а спутников — почти как точки.

Через день после наблюдений, 14 сентября, ученый начал просматривать свои пластинки. И вот на одной из них среди уже известных спутников Юпитера он внезапно заметил слабое — двадцатой звездной величины — пятнышко. Если учесть огромное расстояние, отделяющее Юпитер от Земли, и слабое свечение новооткрытого тела, то диаметр его, в первом приближении, должен был насчитывать лишь от 5 до 8 км.

Впрочем, осторожность — добродетель настоящего ученого, и Коваль сперва не исключал возможности, что перед ним — неизвестная комета или астероид, показавшиеся в окрестностях гигантской планеты.

Однако миновала только неделя, как загадочный объект удалось снова поймать — на этот раз в поле зрения приборов обсерватории Китт-Пик в штате Аризона. Найти его, конечно, помогли указания Ковалья: незнакомец появился всего лишь в двух минутах дуги от предсказанной им точки.

Зафиксированные пять раз положения неизвестного тела дали возможность американским астрономам Б. Маредену, Э. Рёмер и К. Акнесу вычислить, хотя бы предварительно, его орбиту. Тут уж все сомнения исчезли: стало ясно, что это XIII спутник Юпитера. Орбита его наклонена к плоскости эклиптики примерно на $26^{\circ},7$.

На то, чтобы завершить один полный оборот вокруг планеты, новому члену семьи Юпитера требуется 240 земных дней. Именно эта «неспешность» спутника и помогла открыть его.

Первое время новичок обходился неромантическим индексом J XIII, где буква J — начальная в латинском написании имени «Юпитер». Однако сила традиции берет свое. Международный астрономический союз постановил возобновить обычай присваивать спутникам имена собственные, и Коваль решил использовать право первооткрывателя. За именем дело не стало, ведь у любвеобильного бога была еще одна страсть, о которой астрономы чуть было не забыли — Леда. Правда, если бы Зевс-Юпитер вознамерился вновь посетить свою возлюбленную, то на этот раз облик лебедя, к которому Олимпиец прибег в древнем мифе, пожалуй, ему бы не помог: небесную Леду от Юпитера отделяют несколько более 11 миллионов км, расстояние уже не мифологическое, а астрономическое!

«Чертовой дюжиной» в своей свите Юпитер обходился всего лишь год — чуть ли не день в день. Тот же Коваль снова дежурил у телескопа на горе Паломар, когда ему, казалось бы, опять улыбнулось счастье. На фотопластинке «отметилась» совсем уж булавочная головка — небесное тело 21-й звездной величины. Напомним, что чем больше эта величина, тем слабее обозначаемая ею светимость, причем каждая единица означает уменьшение в два с половиной раза! (Леда имеет 20-ю звездную величину, но и она была едва различимой.) Новичок 1975 J1 (собственное имя ему не было присвоено) занял место самого тусклого из всех известных спутников в Солнечной системе.

В конце 1975 г. американским астрономам несколько раз удавалось фотографировать что-то похожее на спутник. Однако для того, чтобы окончательно рассеять все сомнения, необходимо провести повторные наблюдения в других обсерваториях.

Зато, возможно, «перескочив» через спутник 1975 J1, астрономы уже куда более уверенно открыли спутник XIV. (Правда, эта нумерация еще не окончательная.) Произошло это так.

Анализ фотографий, сделанных космическим аппаратом «Вояджер-1», заставил ученых несколько изменить программу уже находившегося в полете

«Вояджера-2» и ввести в его задание дополнительное фотографирование нескольких заинтересовавших их участков околоюпитерианского пространства.

На одном из полученных «Вояджером-2» в июле 1979 г. снимков была замечена крошечная полоска света... Звезда? Но какая? Три месяца бились над этим вопросом аспирант Калифорнийского технологического института Д. Джюит и научный сотрудник Дж. Э. Даниэлсон, пока не пришли к выводу: это не звезда.

Затем проанализировали другую фотографию, сделанную с большим разрешением. Выяснилось, что длина и направленность световых черточек, оставленных на пластинке известными в этом же районе звездами, существенно отличаются от следа, вызванного загадочным объектом. Стало очевидно: перед нами тело, обращающееся вокруг Юпитера. Значит, это новый спутник!

Орбита его проходит всего в 57 800 км над верхушками юпитерианских облаков, а размеры совсем небольшие — километров тридцать-сорок в диаметре, но ведь у Юпитера есть «прислужники» и значительно мельче. Впредь до выяснения реальности спутника 1975 J1 и до появления предложений о каком-либо мифологическом имени спутнику XIV временно дано обозначение «1979 J1», что на астрономическом языке означает «1-й объект в системе Юпитера, открытый в 1979 г.».

Д. Джюит и математик из Лаборатории реактивного движения С. Синнот занялись вычислениями — независимо друг от друга, чтобы потом сопоставить результаты. Оказалось, что новичок — рекордсмен по скорости бега: она у него составляет около 108 тысяч км/ч, и нет в Солнечной системе спутника, который двигался бы быстрее него. И период обращения у него самый короткий: чтобы завершить полный оборот вокруг Юпитера, ему достаточно 7 ч 8 мин.

Случайностями усыпан путь познания. В сентябре 1980 г. Синнот задался целью подтвердить или опровергнуть существование спутника 1979 J1. Ученый решил поискать его изображение на снимках, полученных ранее «Вояджером-1». Новых свидетельств этого открытия он там не нашел, но зато заметил изображение другого неизвестного тела — 1979 J2 (XV). Этот спутник не так уж мал: его диаметр составляет 70 или

80 км. Оказалось, что он «зафиксировал» свое присутствие на фотографиях, сделанных обоими «Вояджерами». Подсчеты говорят, что на один оборот вокруг Юпитера у J2 уходит 16,19 ч. При этом Синнот обнаружил еще один спутник — 1979 J3! На конец 1981 г. этот спутник оказался ближайшим к поверхности Юпитера (128 тыс. км); его период обращения вокруг планеты составляет менее трети суток.

Родословная юпитеровой семьи

Если открытия все продолжают, естественно, хочется спросить: сколько же их в действительности, этих членов юпитеровой семьи? Доколе астрономы будут находить все новые и новые?...

Чтобы ответить на эти вопросы, следует разобраться: а каково же их происхождение, откуда вообще взялись эти луны?

Читатель, вероятно, помнит, что одним из наиболее вероятных источников образования малых спутников Юпитера астрономы считают захват. В течение сотен миллионов и даже нескольких миллиардов лет существования планеты в ее окрестностях время от времени должны были появляться астероиды, кометы, обломки более крупных небесных тел. Попадая в поле тяготения могучей планеты, они как бы порабощались ею, становясь спутниками.

Кажется, все так просто и понятно. Однако ведь и распад крупных объектов, столкнувшихся друг с другом, на несколько меньших неизбежно тоже должен приводить к появлению большого числа мелких спутников. Удалось даже вычислить: количество таких мелких «компаньонов» у планеты должно примерно удваиваться с каждым понижением их блеска на одну звездную величину.

Когда Коваль открыл Леду, это стало не просто фактом из «переписи населения». Открытие нового члена семейства явилось аргументом в пользу того, что внешние, наиболее удаленные от Юпитера спутники не являются осколками, образовавшимися в результате столкновений древних небесных тел, потому что по гипотезе распада спутников со звездной величиной 20^m должно быть более десятка. А известно

только два — Леда и не совсем еще доказанный «Четырнадцатый». О причинах, почему наблюдатели недосчитываются этих десяти спутников, пока можно только догадываться. Один вариант — они еще просто не открыты. Другой же вариант...

Другой вариант затрагивает проблемы прямо-таки вселенских масштабов; он связан с космогоническими теориями, описывающими историю происхождения всей нашей Солнечной системы.

Но сначала проведем нечто вроде классификации юпитерианских лун. Начнем с размеров. Вплоть до последних лет размеры спутников Юпитера, называемые разными авторами, очень сильно колебались.

Лишь в мае 1971 г. астрономы начали приходить к большому или меньшему единству. В это время произошло покрытие звезды Бета в созвездии Скорпиона спутником Ио. (Это означает, что для глаз земного наблюдателя спутник загородил звезду.) Такое их расположение позволило довольно точно, с ошибкой в ту или иную сторону, не превышающей 10 км, установить: радиус Ио составляет 1820 км.

Не прошло и двух лет, как Земля в своем небесном беге пересекла плоскость юпитерова экватора. О том, что такое событие предстоит, астрономы, разумеется, знали заранее. Сотрудники двадцати трех обсерваторий, разбросанных по всем обитаемым материкам, в течение нескольких месяцев неуспешно (вот когда слово уместно: астроном-практик работает ночью!) наблюдали покрытия галилеевых спутников одного за другим.

Когда обработка всех данных, собранных в Гарвардском астрофизическом центре (Кеймбридж, штат Массачусетс, США), завершилась, впервые удалось установить: радиус Европы составляет около 1525 км, а Каллисто 2420 км. При этом для первого из этих спутников точность измерения достигла плюс-минус двадцати пяти, а для второго — примерно двадцати километров. С такой скрупулезностью их измерили в первый раз. Между прочим, эти цифры несколько «посрамили» ближайшую к Солнцу планету: оказалось, что Каллисто, хотя всего лишь спутник, но по размерам «самостоятельному» Меркурию не уступает.

Кстати сказать, после этих исследований с рабочего стола астрономов всего мира исчезли знаменитые «Сампсоновские таблицы». Более шестидесяти лет служили они верой и правдой для вычисления положений крупных спутников Юпитера, а теперь, как говорится, в одночасье, их точность была сразу превзойдена в десять раз.

Когда размеры спутников более или менее определились, их классификация стала на серьезную почву. При первом же взгляде весь этот рой распадается на две большие группы. Одна из них — внутренняя, куда входят четыре галилеевых спутника и близкая к Юпитеру Амальтея. Все они очень крупны: даже самая «мелкая» из них, Амальтея, обладает радиусом, очевидно, приближающимся к полуторастам километрам. Ганимед же даже среди них великан.

Затем бросается в глаза, что все члены внутренней группы, как говорят астрономы, регулярные. Это значит, что они движутся по своим почти круговым орбитам в той же плоскости, в какой лежит экватор планеты и — очень важно! — в прямом, а не обратном направлении. Все эти спутники испытывают постоянное воздействие близкого и мощного главы семейства: форма их орбит явно зависит от того обстоятельства, что тело Юпитера сплюснуто. Да и по своему строению, о котором будет подробнее говориться ниже, эти спутники явно имеют между собой нечто общее.

Резко отличаются от них внешние спутники. Только у самого крупного из них — Гималии (VI) радиус едва-едва, может быть, приближается к ста километрам; у Эллары (VII) он, по-видимому, близок к пятидесяти километрам, а у всех остальных, вероятнее всего, не превышает одного-двух десятков километров.

Замечено, что внутренние спутники расположены на таких же относительных расстояниях от Юпитера, как планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс) — от Солнца. Естественно, в голову приходит мысль, что Юпитер в Солнечной системе — как бы второй сюзерен, который, в подражание монарху, завел себе свой двор со своими вассалами.

Продолжая сравнение групп, увидим, что внешние спутники (хотя и не все) обращаются вокруг Юпитера в обратном направлении. Так ведут себя Ананке (XII), Карме (XI), Пасифе (VIII) и Синопе (IX).

И формы орбит у них далеки от круговых. На эти вытянутые орбиты Юпитер уже не может оказывать в такой мере свое мощное воздействие. В самом деле, если галилеевы спутники от планеты удаляются не далее двух миллионов километров (самая далекая Каллисто — на 1 880 000 км), то из внешних даже наиболее близкая Леда и та уходит далее чем на 11 миллионов, а Пасифе и Синопе находятся на самой границе юпитерианских владений — более чем в 23 миллионах км от планеты. Им приходится тратить на один оборот вокруг Юпитера два земных года с лишним.

Наклонение орбит у каждой группы тоже свое. Внешние спутники, в отличие от внутренних, вовсе не желают в своем движении придерживаться плоскости юпитерианского экватора. Орбиты Гималии, Эллары и Лиситеи наклонены на 28° , а у Ананке, Карме, Пасифе этот угол даже значительно превышает 90° .

Можно сказать, что у Юпитера две семьи — внутренняя (спутники, открытые Галилеем, и Амальтея) и внешняя — все остальные спутники. Однако внимательный взгляд подразделяет внешнюю семью на две различные подгруппы.

Действительно, очень уж по-разному выглядят их орбиты. Если у Леды, Гималии, Эллары и Лиситеи орбиты довольно близки к круговым, то у остальных они сильно вытянуты. Да и массы очень разнятся: у более удаленных, «нерегулярных» они много меньше, и эти спутники скорее приближаются к малым телам нашей Солнечной системы — астероидам, чем к «полномерной» Луне.

Вот это и наводит на мысль: а, может быть, у спутников и происхождение не совпадает?

Рассмотрев все различия и сходства, существующие в свите Юпитера, ученые построили такую пока еще примерную модель. Пять крупных спутников — Ио, Европа, Ганимед, Каллисто и Амальтея, — очевидно, более близкие между собой «родственники» (хотя об Амальтее пока еще известно маловато, чтобы решительно утверждать это и о ней).

Средняя плотность первых четырех спутников, как недавно установлено ($3,5$; $3,1$; $1,9$ и $1,8$ г/см³) правильным образом уменьшается по мере удаления от Юпитера. Два самых близких к планете, судя по всему, каменные, то есть состоят главным образом из силика-

тов, а два внешних, не столь плотных, очевидно, в основном ледяные *). Все это позволяет астрономам разработать такой сценарий возникновения наших героев.

Галилеевы спутники и Амальтея образовались в результате процесса, сходного с тем, который породил их материнскую планету. Сначала на месте всей Солнечной системы была гигантская газо-пылевая туманность, потом значительная часть пыли объединилась в более крупные частицы и начала оседать в области, близкой к средней плоскости этой туманности, конденсируясь в небесные тела размером не менее, чем у астероидов.

Эти небесные тела временами сталкивались друг с другом, сливались, образуя гигантский ком прото-Юпитера. Тем временем газ притягивался к этому зародышу будущей планеты и даже обрушивался на него. Зародыш постепенно становился ядром Юпитера, а газовая оболочка — его основным телом.

Однако не весь запас вещества был израсходован на «строительство» самой планеты. В ее окрестностях все еще оставалось достаточное количество разреженного газа, образующего нечто вроде вращающегося вокруг Юпитера диска. На ранних стадиях развития молодой еще Юпитер обладал высокой температурой (она и сейчас еще продолжает удивлять тех, кто ждет от планеты только отраженного ею чужого, солнечного, света и тепла).

В конце 60-х годов советский ученый В. С. Сафонов сформулировал правило, которое сводится к следующему. После того как в средней плоскости туманности сформируется тонкий слой сконденсированных твердых частиц, он долго в таком виде существовать не может. Притяжение частиц друг к другу заставляет неустойчивый слой распадаться на более крупные «сгустки» материи.

Порождаются сгущения твердых тел, каждое диаметром примерно с километр. Сталкиваясь между собой (на это нужен немалый срок, но чем-чем, а временем космогония располагает в избытке!), эти сгущения

*) Впрочем, недавно высказано предположение, что Амальтея, подобно некоторым падающим на Землю метеоритам, представляет собой углистый хондрит. Объяснить эту странность пока еще не удалось.

и образуют центральные ядра — они «сделаны» из камня.

А поверх этого каменного ядра у некоторых спутников «надета» ледяная рубашка. Где возможна конденсация, там есть и вода — в различных ее модификациях: жидкой, твердой, газообразной. На галилеевых спутниках, кроме Ио, это просто лед (на самом дальнем из них, Каллисто, покров льда, очевидно, сплошной). А на Ио, скорее всего, весь космический «каток» испарился и там льда нет.

Все сказанное убедило большинство специалистов в том, что пять внутренних спутников Юпитера образовались примерно в одно время, в ходе одинакового процесса, охватившего ту же газо-пылевую дискообразную туманность, из которой несколько ранее начала формироваться сама их материнская планета.

Совсем другое дело — спутники внешние. Здесь почти все авторитеты сходятся на том, что они — «чужаки» в мире Юпитера. Но дальше между специалистами начинаются расхождения. Одни считают, что в окрестностях планеты некогда столкнулись два больших небесных тела или две кометы. Катастрофа, разбросавшая обломки «кораблекрушения», — вот исходное событие согласно одной гипотезе.

Другие же говорят, что вероятность столкновения даже крупных тел в безбрежном космосе очень уж мала. Скорее, считают они, одно небесное тело излишне приблизилось к Юпитеру и гравитационные силы привели к его распаду. Происходят ли эти спутники от одного и того же «прародителя» или от разных, с некоторой уверенностью можно будет сказать, когда станет известно, одинаков или различен их химический состав. А вот этого-то мы пока не знаем...

Между Марсом и Юпитером лежит кольцо астероидов — мелких планеток, самостоятельно обращающихся вокруг Солнца. Среди них известна группа астероидов, носящая общее имя Троянцы. Их почти одинаково удаленные от Солнца орбиты и некоторые иные характеристики наводят на мысль: не Троянцы ли послужили некогда источником для возникновения внешних спутников Юпитера. В стародавние времена, вскоре после образования Солнечной системы, когда плотность расположения астероидов в окрестностях

Юпитера была куда больше, чем теперь, некоторые из них могли быть поработаны притяжением планеты.

С другой стороны, математические расчеты показали, что захват одного небесного тела другим происходит довольно редко и поэтому маловероятен как источник, породивший внешние спутники Юпитера. «Комплексную» гипотезу их появления предложил советский астроном В. А. Бронштэн. Характеристики орбит подсказали ему, что в глубине сферы влияния Юпитера сперва произошла катастрофа — столкновение между двумя небесными телами. Излишняя энергия, которая до этого помешала бы их захвату, растратилась на соударение, после чего притяжение гигантской планеты уже вполне могло оказаться достаточным для захвата и удержания при себе новых «вассалов». Тремя годами позже американские ученые Дж. Нолombo и Ф. Франклин высказались в подтверждение гипотезы В. А. Бронштэна, но для окончательного решения этой проблемы данных пока еще маловато.

На поверхности и в недрах

Пусть не скоро еще ступит человек на спутники далеких планет. Но все равно уже сейчас интересно, полезно, — нет, просто необходимо! — знать, что там окажется у него под ногами. Ведь недаром первые карты нашей Луны начали появляться, когда космонавтике никто всерьез и не помышлял. Первая лунная карта-схема была составлена Яном Гевелием (1611—1687) из Данцига (ныне это польский город Гданьск). В своей «Селенографии, или Описании Луны», вышедшей в 1647 г., Гевелий поместил выполненные им собственноручно искуснейшие гравюры, показывающие многие черты поверхности нашего спутника с их названиями, предложенными им же и значащимися на всех картах и повыве.

Великий астроном У. Гершель и его немецкий коллега и современник И. Х. Шрётер (1745—1816) в своих трудах упоминают, что они не раз замечали темные пятна на галилеевых спутниках, но ведь на основе этого карту не составишь. Лишь в 1849 г. опытный английский наблюдатель У. Р. Доуэс стал первым, кто точно и определенно описал ту или иную

деталь поверхности юпитерианских спутников. На крупнейшем из них — Ганимеде — он обнаружил полярную шапку. К концу прошлого века штрих за штрихом добавляли к этой картине пользовавшиеся лучшими телескопами своего времени Барнард, Лоуэлл и видный испанский астроном Х. Комас Сола (1868—1937). В двадцатом столетии к ним присоединился астроном Л. Бреннер (1855—1928), который возместил слабость своего телескопа отличными условиями наблюдений, проведенными на островке Лиссингикколо в Адриатическом море, и известный исследователь Марса Э. Антониади (1870—1944).

Наконец, в 1951 г. американец Э. Дж. Рис смог уже составить обобщающую все известные факты первую карту поверхности Ганимеда. Для отсчета координат необходима нулевая линия. За нее Рис принял центральный меридиан диска спутника в тот момент, когда он находился за Юпитером во время противостояния планеты.

Интересное совпадение: двумя-тремя годами позже Риса были опубликованы карты Ганимеда и остальных галилеевых спутников, составленные незадолго до его смерти видным французским астрономом Б. Лио ((1897—1952), изучавшим небо при помощи крупного рефрактора знаменитой обсерватории Пик-дю-Миди в Пиренеях. Лио, работая совершенно независимо, выбрал для Ганимеда в качестве «гринвичского» тот же меридиан, что и Рис. Впрочем, это скорее не совпадение, а просто логика: этот меридиан, действительно, самый подходящий. Как мы помним, именно такой меридиан принят за основной и у спутников Марса.

Известно, что четыре крупнейших спутника Юпитера обладают синхронным вращением, так же как Луна и спутники Марса: чтобы совершить один оборот вокруг собственной оси, им требуется столько же времени, сколько на полное обращение вокруг своей планеты. Поэтому к планете они всегда обращены одной и той же стороной. Зато с Земли юпитерианские луны предстают разными сторонами попеременно.

И все-таки приходится признаться, что еще не пробил час науки, которой можно было бы, по аналогии с земной географией, дать имя «ганимедографии» или «каллистографии» и т. д. — слишком мало у нас данных для этого.

Но вот с тем, «из чего сделаны спутники», то есть, как говорят специалисты, какими породами сложена их поверхность, и даже, как это ни парадоксально, их внутренние области, уже можно судить с немалой уверенностью.

Важным источником информации для нас является свет, отражаемый этими телами. Ведь известно, что отраженный, переизлученный свет обязательно чем-то отличается от света падающего, и эта разница, вызванная поглощением части спектра, может немало рассказать пытливому исследователю. В первую очередь о цвете.

Каждая из юпитеровых лун имеет свою окраску. Правда, еще лет тридцать назад советский астроном В. И. Чередниченко указал, что синевато-голубоватый цвет у них преобладает. Однако, по мнению различных наблюдателей, оттенки и даже цвета у разных спутников все же существенно отличаются. И более того, один и тот же спутник в различное время и по данным разных астрономов может казаться то желтоватым, то серовато-голубым, то красновато-желтым, то чисто белым. А на Ганиমেде различали темную область, которую одни исследователи описывали как шоколадно-коричневую, а другие — как серо-зеленую.

Пожалуй, еще более важную роль, чем цвет, играет яркость спутников. В самом конце XVIII в. в продолжение двух лет У. Гершель, наблюдая их, обнаружил перемены в яркости этих небесных тел. Он также заметил, что эти перемены происходили не как попало, а закономерно, совпадая с временем обращения данного спутника по его орбите. Причина была очевидной: темные или светлые области на поверхности спутника распределены неравномерно, и мы видим то главным образом темные, то более яркие участки. Кстати, позднее, когда изобрели фотографические способы наблюдения, этот факт и позволил открыть их синхронное вращение.

Но настало время подробнее рассказать об альбедо. Это отражательная способность тела, которое собственной светимостью не обладает. Альбедо говорит о том, какую долю света, падающего на это тело, оно не поглощает, а отбрасывает от себя обратно в окружающую среду.

Альbedo равно единице у «идеального отражателя», который отбрасывал бы все 100 процентов поступившего излучения, и равно нулю у «абсолютно черного тела», поглощающего весь упавший на него свет. Конечно, «идеала» в природе нет, и все реально существующие тела стоят на той или иной ступеньке между этими двумя крайностями.

В Солнечной системе среди планет высшим показателем альbedo (0,61) обладает Венера. Это значит, что она отражает 61% солнечного света, упавшего на нее. А самое низкое альbedo имеет Меркурий, который отражает лишь 6% поступающего света. Наша Луна близка к Меркурию по этой характеристике: ее альbedo равно 0,07. Альbedo Земли составляет что-то около 0,39.

У Ио и Европы альbedo высокое (0,63 и 0,64, соответственно), у Ганимеда оно среднее (0,44), а Каллисто обладает весьма низким альbedo (0,19). Для наглядности можем сказать, что Ио и Европа светятся приблизительно так, как свежеснеженный снег, а это действительно высокий коэффициент отражения.

К очень странному открытию привели наблюдения, выполненные астрономами Д. Т. Томпсоном и Р. Л. Миллисом (Лоуэлловская обсерватория) в 1975 г. Фотометрическое исследование спутников Юпитера, проведенное ими в ультрафиолетовой области спектра, показало, что все они за два предыдущих года... стали ярче на две-пять сотых звездной величины! В этих результатах можно было бы и усомниться, но чуть позже Т. Дж. Джонс и Д. Моррисон подтвердили их, выполнив фотометрические наблюдения в шести различных диапазонах. Сами авторы открытия признаются, что оно их озадачило и призывает к дальнейшему изучению загадочного феномена.

Основываясь на приведенных цифрах, многие специалисты высказывали предположения о материале, из которого состоят внешние слои Ио и Европы. Существовало также мнение, согласно которому эти луны покрыты слоем замороженных газов, вероятнее всего, — твердой двуокисью углерода (CO_2).

Маленькая Амальтея вообще оставалась на положении сироты, не избалованной вниманием ученых. Постепенно, однако, они начали преодолевать трудности ее изучения. В 1978 г. астроном Миллис опубликовал результаты своих фотоэлектрических измерений

блеска Амальтеи. Оказалось, что она светится на одну звездную величину слабее, чем полагали до сих пор (ее звездная величина 14^m).

Кроме того, установлено, что Амальтея — самый красный из всех объектов нашей Солнечной системы, хотя и неизвестно, что это за темно-бордовое вещество, которым сложена ее поверхность. Наконец, альbedo Амальтеи тоже необычно. Доныне считалось, что этот спутник отражает не менее одной десятой падающего на него света. Ничего подобного: лишь около 2% светового излучения поверхность Амальтеи отражает во внешнее пространство; все остальное — поглощает. Это делает еще более загадочным вопрос: чем же она покрыта.

Немалую часть своей жизни посвятил изучению спутников американский астрофизик голландского происхождения Дж. П. Койпер (1905—1973). В 1957 г., работая на 82-дюймовом (205 см) телескопе обсерватории Мак Доналд, расположенной на горе Лок в штате Техас, он сделал очень удачные снимки галилеевых спутников в инфракрасном цвете. Закончив анализ своих снимков, Койпер обнаружил, что из них лишь Ио и Каллисто отражают излучение Солнца в сравнительно неизменном виде. Что же касается Ганимеда и в еще большей степени Европы, то их спектр показывает сильную «переработку» поступающего солнечного излучения, особенно в диапазоне между 15 000 и 25 000 ангстрем ($1 \text{ ангстрем} = 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).

Из этого астрофизик сделал сенсационный вывод: Ганимед и Европа покрыты... самым настоящим «земным» снегом! Правда, на Ганимеде, у которого альbedo поменьше, этот снег, по-видимому, перемешан с песчаной пылью, которая помешала бы лыжнику, окажись он чудом там.

Интересно отметить, что видный советский астрофизик В. И. Мороз (Институт космических исследований АН СССР) совершенно независимо и другим методом получил спектры, которые в 1965 г. привели его к сходному выводу: Европа и Ганимед обладают такой же отражательной способностью, как и полярные шапки Марса и, по-видимому, эти спутники тоже покрыты льдом, если и не полностью, то в значительной мере.

Сотрудник Гавайского университета К. Б. Пилтер сумел даже подсчитать, что у Европы снегом и льдом

покрыто от половины до 100% поверхности, у Ганимеда — от четверти до 65%, а у Каллисто что-то между 5% и четвертью всей поверхности.

На том расстоянии от Солнца, где «живет» семья Юпитера, водный лед едва-едва может существовать. Максимальная температура на поверхности спутников заключена между 135 и 165 кельвинами (К), а при такой температуре и существующем там давлении вода находится как раз на границе между жидкой и твердой фазами. (Правда, строго говоря, жидкой фазы при столь низких давлениях нет, а существуют лишь твердая и газообразная.) Поэтому возраст льда на спутниках сильно зависит от условий, существовавших там в прошлом. Если средние температуры там не очень менялись, то за несколько миллиардов лет, пока живет наша Солнечная система, спутники Юпитера должны были заметно «похудеть»: с их поверхности испарился слой льда толщиной, может быть, до 1 м.

Для ледового покрова, конечно, важно и то, в каких широтах расположен его конкретный участок. Вблизи экватора любого из галилеевых спутников Юпитера при каждом их обращении вокруг планеты бывают периоды, когда температура превышает 150 К, льду становится слишком «жарко», он испаряется, а водяные пары в значительной мере ускользают в космическое пространство — слабое притяжение небольшого спутника не очень-то может их удержать от бегства.

Таким образом, за несколько миллионов лет могли быть потеряны даже не один, а многие метры ледовой оболочки Европы и Ганимеда. Однако среднегодовая температура даже на освещенной Солнцем стороне Ганимеда составляет около -98°C (175 К), а поэтому и при некоторой потере льда там все еще могут существовать ледники.

А вот, например, на удаленной от бывшего некогда теплым Юпитера Каллисто температура такая, что это заставило ученых высказать необычную гипотезу: верхний слой этого спутника, возможно, сплошь представляет собою вечную мерзлоту, которая... плавает на более теплой водяной «подстилке». Подтвердить это мы сейчас, к сожалению, еще не можем, так же как и решительно опровергнуть...

Изучая спектрограммы поверхности Ганимеда, некоторые ученые все же высказывали сомнения, лед ли это, и если лед, то водный ли или он состоит из других замерзших веществ. Сотрудник Гавайского университета К. Пилчер, выступая в 1974 г. на специальном коллоквиуме, созванном Международным астрономическим союзом в Итаке (штат Нью-Йорк, США), так «заступался» за воду: «Мне кажется, что необходимо сказать слово в защиту водного инея. Ведь факт, что мы видим на Европе и Ганимеде поглощение, которое может быть объяснено только присутствием значительного количества воды в твердом состоянии на поверхности этих тел. Конечно, это не обязательно чистая вода, например, загрязнение ее 10-ю или 20-ю процентами CH_4 (метан) или NH_3 (аммиак) различить невозможно, но вода должна там быть обязательно.

Верно говорят, что вода испарилась бы, и чтобы восполнить убыль ее на поверхности, необходим какой-то источник. Но если речь идет о таком теле, как Ганимед, с плотностью $1,9 \text{ г/см}^3$, все, что нам нужно, — это доставить на поверхность часть большого объема воды из его центра. Это может осуществляться путем внутреннего таяния и дегазирования, как Фанале предположил для Ио, или же просто благодаря переворачиванию поверхностных слоев при падении метеорита. Однако уйти от того факта, что инфракрасные спектры Европы и Ганимеда изобилуют сконденсированной водой, никак невозможно...

Словом, Ганимед (рис. 6) — спутник, во многом напоминающий планету. Правда, довольно оригинальную: недаром некоторое время господствовала экзотическая гипотеза, что он в основном состоит из воды в жидком виде, а суша там — сменяющие друг друга небольшие участки камней и льда. На переднем по ходу движения полушарии почему-то льда немного больше, чем на заднем. Об этом говорят отчетливые различия в альбедо того и другого полушария.

Из галилеевых спутников Юпитера наименьший — Европа (рис. 7). Она слегка уступает по размеру нашей Луне. А по плотности Европа далеко превосходит и Ганимед и Каллисто. Такая плотность говорит, что воды там, в отличие от Ганимеда, очень мало. Значит, Европа сложилась в условиях, которые препятствовали

конденсации влаги. Видимо, температура в районе, где пролегла орбита Европы, была для этого слишком высокой. А это могло быть следствием большой светимости самого Юпитера в то время.

Как именно менялась эта светимость по мере «старения» Юпитера, ученые рассчитывать уже умеют.

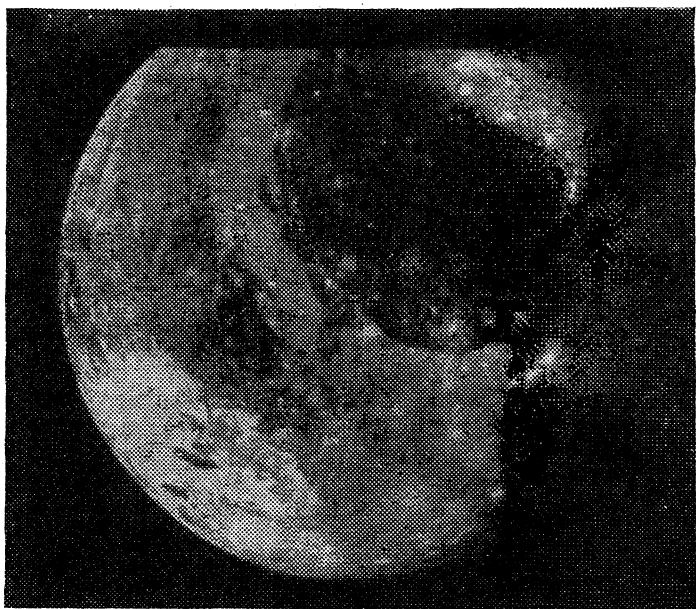


Рис. 6. Поверхность крупнейшего из спутников Юпитера Ганимеда, в основном образованная льдом и камнями. Светлые лучи, протянувшиеся от кратеров, простираются на 300—500 км. Снимок сделан с «Вояджера-1» в марте 1979 г. с расстояния 240 тыс. км.

Это и дало возможность Ф. Фанале, Т. Джонсону и Д. Матсону (США) составить шкалу, показывающую, в какой очередности рождались и начинали развиваться галилеевы спутники. На этой шкале отмечен первый «запретный» для образования льда период, кончившийся более чем через 1 миллион лет после образования Юпитера: до этого лед на поверхности спутников еще никак не мог образоваться. Потом,

когда Юпитеру исполнилось примерно 20 миллионов лет, на Европе уже была такая температура, что лед конденсировался довольно быстро. Черед активного оледенения на Ио наступил, когда Юпитеру стало 35 миллионов лет. Но тут вступил в силу второй «запретный период». На этот раз снова для образования льда условия исчезли...

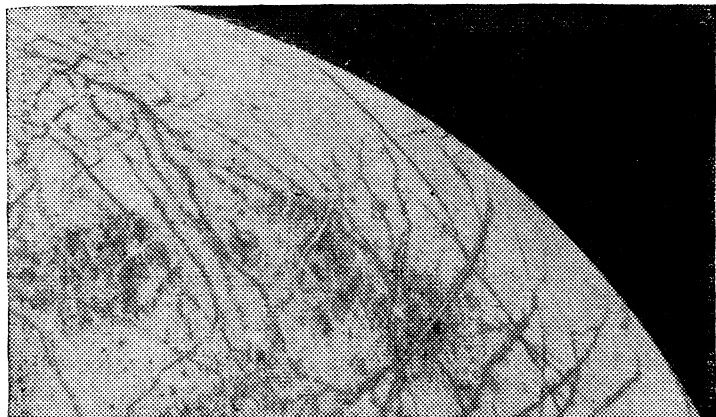


Рис. 7. Самый светлый из галилеевых спутников — Европа. Более темные ее области — «острова» камней среди моря льда. Вся поверхность спутника покрыта паутиной толстых и тонких линий тянущихся на сотни и даже более тысячи километров. По-видимому, это трещины и разломы в ее ледяной коре. В остальном же рельеф Европы в основном равнинный, лишь отдельные участки возвышаются над окружающей местностью на какие-нибудь десятки-сотни метров. Крупных (более 5 км в диаметре) кратеров здесь нет. Снимок сделан «Вояджером-2» с расстояния 240 тыс. км.

Ученые спорили: одни считали, что прежде чем условия изменились, почти вся поверхность Европы успела покрыться льдом или инеем (их различить довольно сложно). Другие же утверждали, что не менее 28% поверхности Европы занято чем-то другим. Высокая температура в недрах спутника приводила к выделению из глубин на поверхность влаги в виде пара, а там к своему делу приступил мороз.

Эта, казалось бы, противоположно направленная а в действительности — совместная деятельность могла

привести к созданию ледяной коры мощностью до 75 км. (Для сравнения напомним, что самый мощный на нашей планете ледник — антарктический — лишь кое-где достигает в толщину четырех километров.) Впрочем, если выделение тепла из недр Европы и ныне идет интенсивно, то несколько нижних «этажей» льда общей толщиной в несколько десятков километров могли растопиться.

Но, несмотря на всю эту «европейскую экзотику», одним из самых интригующих объектов в Солнечной системе специалисты считают другой спутник — Ио. Стоит лишь сравнить этот спутник «номер один» с остальными членами семьи Юпитера. Мы уже говорили, что, в отличие от Европы и Ганимеда, там или мало или вовсе нет льда и инея. В самом деле, жаркое дыхание молодого Юпитера на ранней стадии существования Ио могло растопить лед и даже вообще изгнать водяные пары из ее состава. Так и сложилось образованное в основном силикатами небесное тело со средней плотностью не меньше, чем $3,4 \text{ г/см}^3$.

Можно предполагать, что Ио сложена хондритами, о которых мы говорили ранее. Тогда менее чем за миллиард лет температура этого небесного тела должна подняться за отметку 1000 К, а в самом его центре сейчас должно быть даже до 3000 К. Подобный жар «выгонит» всю химически связанную воду, которая была в минералах, на поверхность. С собой эта влага должна вынести из глубины растворенные в ней соли — сульфат натрия, эпсомит, гипс, галит (поваренная соль). Так и получается, что в коре Ио сосредотачивается огромное количество серы, натрия, кальция.

Раз вся (или почти вся) вода из недр ушла на поверхность Ио еще тогда, когда этот спутник был молод, то следовало бы ее там, на поверхности, и ожидать. И тем не менее, спектральные наблюдения никакой воды, ни жидкой, ни твердой, там не обнаруживают. Ну, жидкой при таких-то космических морозах ожидать и не стоит. Но вот лед куда же девался?

Фанале и его сотрудники считают, что толщина льда и не превышала никогда на Ио нескольких сотен метров, а такой слой мог в конце концов полностью испариться, и спутник превратился в шар, «глазуро-

ванный» солями. Другие специалисты сомневаются, что такое количество воды могло ускользнуть с поверхности спутника, и ищут ей какое-нибудь укрытие, например, в полярных шапках Ио, куда она могла «мигрировать» из экваториальных областей. Но тогда шапки должны быть белыми, а на этом спутнике они темно-красные, так что эта идея тоже «не проходит»...

Размеры Амальтеи многое определяют в ее судьбе. Для того места, которое она занимает — всего около 180 000 км от Юпитера, Амальтея слишком мала. Свет гиганта слепит глаза астрономов, наблюдать Амальтею очень трудно, и знаем мы о ней немногое.

В самом конце 60-х годов П. В. Садбери собрал все данные визуальных наблюдений, проведенных, начиная с 1892 г., когда Барнард только открыл Амальтею, и все фотопластинки с ее изображением, заснятые в последнее время, и пришел тогда к выводу, согласно которому орбита этого спутника очень вытянута и сильно наклонена по отношению к эклиптике ((большой круг на небесной сфере, по которому, как нам кажется с Земли, перемещается Солнце в течение года). Но в 70-х годах было установлено, что орбита Амальтеи — почти правильный круг. Это важно, в частности, потому, что параметры орбиты Амальтеи могут поведать ученым и о самом Юпитере — его силе притяжения, степени сплюснутости его фигуры, например.

Материал, пошедший на «изготовление» Амальтеи, необычен. Вообще, то, из чего «сделан» тот или иной спутник, сильно зависит от температуры, царившей в дни его появления на свет. Амальтея и ныне очень близка к Юпитеру, а в прошлом, возможно, прото-Юпитер, то есть тот гигантский сгусток материи, из которой образовался он сам и его ближайшее окружение, вообще был так велик, что едва вмещался в нынешнюю орбиту Амальтеи. Его тепловое излучение действовало на молодую Амальтею особенно сильно. Может быть, в этой области температура достигала 1500 К — это если туманность, окружавшая прото-Юпитер, была не очень прозрачной и неохотно выпускала тепло наружу. Но даже если эта туманность обладала высокой прозрачностью, то, по вычислениям Дж. Поллака из Эймсовского центра НАСА, температура, вероятно, была не ниже 500 К.

А раз так, Амальтея теперь должна, естественно, состоять из очень тугоплавкого вещества. В тугоплавких веществах, как правило, содержится много радиоактивных изотопов. Распадаясь, они еще сильнее разогревают недра. Если бы не это, остывание шло бы очень быстро: у маленькой Амальтеи отношение площади поверхности к массе значительное, а относительно большая поверхность интенсивно отдает тепло. Но радиоактивный распад, видимо, пополняет, хотя бы частично, эту убыль. Итак, Амальтея — тугоплавкое тело и в этом, очевидно, подобна Меркурию, «живущему», как и она, в жарких окрестностях своего владыки.

Еще одно следствие близости Амальтеи к Юпитеру: под воздействием его притяжения на спутнике постоянно происходят мощные приливы. Они вытягивают тело Амальтеи в направлении к гигантской планете и сплющивают его с полюсов. Поэтому Амальтея, по-видимому, должна быть «горбатой», но только этот «горб» с Земли обнаружить пока не удастся. Если такое «искривление тела» будет измерено, возникнет возможность судить о составе Амальтеи: ведь лед легче, а силикатные вещества труднее поддаются внешним силам.

При одном из этих «строительных материалов» (тугоплавкие или силикаты) разница между экваториальным и полярным диаметрами спутника составит всего километров тридцать, а при другом (например, при водном льде) она достигнет доброй сотни километров. До тех же пор, пока мы знаем эти диаметры в лучшем случае с точностью плюс-минус шестьдесят километров, от окончательных суждений лучше воздержаться.

В 1974 г. впервые удалось измерить инфракрасное (тепловое) излучение Амальтеи. Оказалось, что температура там около 155 К (± 15 К). Тогда, с учетом возможной излучательной способности поверхности этого спутника, его диаметр составляет примерно 240 км. Но возможная неточность все еще остается близкой к ± 60 км. Зато строение поверхности этот метод позволил несколько уточнить: скорее всего, она усеяна каменистыми осыпями и не покрыта сплошным льдом...

В отличие от Земли, где лед и снег постоянно сосредоточены в основном в полярных районах, на галилеевых спутниках лед располагается беспорядочно перемежающимися пятнами.

Еще одним источником сведений о распределении материалов по поверхности спутников являются их исследования в моменты прохождения, с точки зрения земного наблюдателя, по поверхности Юпитера. Такие наблюдения показали, что у Ио полярные районы окрашены в темные цвета, которые имеют красноватый оттенок, а экваториальные области выглядят более светлыми. У Европы же и у Ганимеда вокруг полюсов лежат совсем светлые области.

Но вот загадка: высокая величина альбеда Ио говорит о том, что на ее поверхности не должно быть большого количества силикатов, а должна быть сплошная изморось. А вот инфракрасные спектры не содержат следов такой измороси. В чем тут дело?

Окончательного ответа пока нет. Возможно, что лед на поверхности спутника содержит вещества, возникающие, например, при взаимодействии аммиака и метана, которые, несомненно, там есть, с ультрафиолетовыми лучами Солнца или же с заряженными частицами магнитосферы Юпитера. Может быть также, что странный характер инфракрасного спектра Ио объясняется особой микроскопической структурой ее поверхности или смесью с какими-то неизвестными пока веществами.

Стараясь найти выход из противоречивых данных, Фанале и его коллеги из Лаборатории реактивного движения (Пасадена, штат Калифорния) высказали предположение, что на поверхности Ио много эвапоритов. Эти вещества, известные геохимикам и на Земле, появляются там, где некогда был большой водный бассейн, который затем испарился, а растворенные ранее материалы остались на бывшем его дне. Эти специалисты считают, что при рождении спутника в его молодом теле скопились гидратированные силикаты, такие, какие встречаются, например, в падающих нередко на Землю метеоритах типа углистых хондритов. Затем на Ио льда не осталось или осталось очень мало.

Концентрация на этом спутнике радиоактивных урана, тория, калия должна быть высокой. Их распад повышает температуру недр настолько, что любой лед растает, вода же, связанная в углистых хондритах, выйдет на поверхность. По пути она насытится солями. За миллионы лет существования Ио пары должны были уйти в космическое пространство, оставив на ее поверхности соли,—отсюда и появились эвапориты.

Короче говоря, высокая отражающая способность поверхности Ио, по мнению некоторых ученых, объясняется тем, что она сложена эвапоритами и обходится или совсем без инея, или очень небольшим его количеством. Европа же и Ганимед, судя по их спектрам, напротив, в основном покрыты водным льдом, снегом, инеем. На Каллисто есть иней, но он должен быть загрязнен то ли силикатами, то ли углистым веществом...

Но все эти собранные наукой сведения уже позволяют судить о сходстве и различии в строении и истории различных небесных тел Солнечной системы, из которых нам до сих пор для изучения была доступна одна лишь Земля. А ведь без сравнения не может быть и подлинного знания.

Еще в 1975 г. американские ученые Ф. П. Фанале и Д. В. Нэш выдвинули гипотезу, согласно которой поверхность Ио образована смесью 15% элементарной серы и 85% минерала, именуемого астраханитом, химическая формула которого $\text{Na}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. ((Он принадлежит к той же группе минералов, что и глауберова соль.)

В подтверждение такого мнения они показывали на полученные ими спектрограммы Ио. Там действительно можно было различить следы, оставленные этими веществами. Кроме того, астраханит — не новичок для космохимии: его нередко встречали в составе метеоритов. Есть там, правда, еще четыре «солесодержащих» вещества, но астраханит — единственный среди них, содержащий много натрия.

С тех пор Фанале и Нэш попеременно превращались то в астрономов, то в химиков, чередуя небесные наблюдения с лабораторными опытами. В лаборатории они анализировали самые различные эвапориты, силикаты, серу и другие вещества и элементы. У каждого

из них проверяли «отпечатки пальцев» — по спектрограммам сверяли связь характера отражаемого веществом света с его химическим составом, температурой, размерами составляющих вещество частиц, плотностью, изменением под воздействием протонной радиации.

Потом, покинув лабораторию, исследователи сопоставляли полученные там спектры со спектрами, поступившими от Ио. И раз за разом обнаруживали, что лучше всего совпадают спектры, полученные от полного диска этого спутника в диапазоне между 0,3 и 2,5 микрометра, со спектрами такого вещества! по меньшей мере 55% его объема составляет свободная сера, около 30% — обезвоженный астраханит, 15% — сульфат железа и следы гематита (красного железняка Fe_2O_3).

В отдельных случаях по расчетам получалось, что содержание свободной серы в поверхностном слое Ио достигает даже 60 процентов! На той части спутника, которая является «хвостом» при его движении вокруг Юпитера, сера скапливается, по-видимому, еще сильнее. Может быть, этому способствует здешний более сухой и теплый климат, или же большее воздействие радиации — это еще не ясно. Так или иначе, но можно было считать очевидным: на поверхности Ио находится богатейшее месторождение серы, известное где-либо в природе.

А все-таки она есть!

Десятилетие за десятилетием усилиями множества астрономов всех стран накапливались фотометрические данные о характере света, отражаемого спутниками Юпитера. «Дело» о вариациях их блеска постепенно стало довольно объемистым. Пора было эту информацию анализировать.

Регулярные изменения блеска — это дело объяснимое: поверхность небесного тела неоднородна, разные ее участки отражают свет по-разному, а спутник поворачивается к нам одной и той же стороной через одинаковые интервалы времени. Но вот нерегулярные вариации блеска то возникают, то исчезают, не соблюдая при этом никакой закономерности,

Облака? Они и в самом деле могут от случая к случаю изменять отражающую способность небесного тела. Но тогда ведь у спутников должна быть атмосфера! Вплоть до последнего времени от такого предположения захватывало дух... И гипотеза об атмосфере на спутниках Юпитера была положена на дальнюю полку.

А, собственно, почему? Конечно, вся «мелочь» — с V по XVI, то есть все негалилеевы спутники, слишком уж малы, чтобы удержать около себя газовый покров, если он у них даже и был когда-то. Но четверка великанов — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто, — их-то тяготение, кажется, достаточно, чтобы удержать летучие молекулы газов от попытки «сбежать» в космическое пространство.

Важна также и температура: чем она выше, тем быстрее движутся молекулы и тем легче им ускользнуть из окрестностей небесного тела. Но Солнце отсюда далеко, а тепловое излучение Юпитера не настолько высокое.

Долгое время мешал, очевидно, психологический фактор. Все-таки, единственный спутник, данный нам для наблюдений извечно, — Луна, можно сказать, лишен атмосферы. А ведь немалое небесное тело, думается, могло бы «завести» себе и удержать атмосферу. Или вот Меркурий — еще больше, чем Луна, но тоже воздушной оболочки лишен.

Порог привычных представлений пытались перешагнуть наиболее смелые и дальновидные. Немецкий астроном, директор обсерватории Берлинского университета П. Гутник (1879—1947) лет шестьдесят назад указывал, что такое высокое альbedo, каким обладают Ио, Европа и даже Ганимед, может служить свидетельством в пользу существования у них хоть какой-то атмосферы. У первых двух из них в особенности: их отражающая способность близка к отражающей способности Венеры. А она ведь, несомненно, одета в плотную воздушную мантию; это еще М. В. Ломоносов открыл, верно объяснив помутнение солнечного диска и образование около Венеры, как он писал, «светящегося пупыря» при прохождении планеты по диску Солнца в 1761 г.

Неустанно измеряя альbedo своих «подследственных», Гутник смог, наконец, в 1944 г. опубликовать

вывод: «свидетельства наличия атмосфер у четырех главных спутников Юпитера есть».

Дж. Койперу в Америке куда меньше, чем Гутнику, досаждал грохот орудий Второй мировой войны, и астрономическим «вооружением» его судьба тоже не обидела. Но и этот крупный ученый, пользовавшийся 82-дюймовым рефлектором обсерватории Мак Дональд, чтобы изучить спектры спутников, в 1942 г. не нашел доказательств существования атмосферы. Гутник же перекочевал в Бабельсберг под Берлином, где стоял в то время лучший в Европе 49-дюймовый (123 см) рефлектор, намного превосходящий его «собственный» университетский прибор. Здесь он пришел к выводу, что, судя по полосам поглощения в спектре излучения Ганимеда, атмосфера у того быть должна.

Для известного нашего астронома академика В. Г. Фесенкова (1889—1972) все было настолько очевидно, что он обсуждал уже не тот вопрос, есть она или нет, а из чего может состоять такая атмосфера. Изучив все доступные в то время сведения, В. Г. Фесенков высказал мнение: у спутников Юпитера газовая оболочка должна состоять в основном из двуокиси углерода (CO_2) и метана (CH_4); она также включает в себя другие водородсодержащие вещества и небольшое количество благородных газов — неона и аргона. Кислород же и азот там практически отсутствуют.

В 1964 г. американские астрономы А. Биндер и Д. Крукшенк заметили: после того, как Юпитер в очередной раз затмит Ио, стоит спутнику снова появиться из тени планеты, как его блеск становится примерно на одну десятую звездной величины больше, чем был до того. Наблюдательный факт требовал теоретического объяснения. Его дал американский ученый У. Синтон.

По мнению Синтона, у Ио есть атмосфера, а в ней — аммиак. Когда спутник заходит «за спину» Юпитера, солнечные лучи перестают его обогревать, температура падает, аммиак вымерзает и блеск спутника уменьшается. С той поры спор не прекращается, причем двойной спор: во-первых, действительно ли происходит такое изменение светимости Ио, а, во-вторых, если да, то по той ли причине, что назвал Синтон, или по иной.

Так, член-корр. АН СССР Г. С. Голицын и А. Ф. Стеклов сумели аргументированно доказать, что даже если блеск Ио действительно меняется сразу после затмения, то аммиак здесь не при чем, так как за весь срок существования Ио на ее полюсах аммиак должен был бы полностью вымерзнуть, в районе экватора — быть погребённым под слоем пыли, а в средних широтах — под слоем камней. В атмосфере же содержание этого вещества тогда не должно превышать каких-нибудь 10^8 см⁻³, что на блеске никак сказаться уже не в состоянии.

Конечно, если экваториальная область Ио вдруг подвергнется метеоритной бомбардировке, может обнажиться укрывшийся под пыльным слоем аммиак. Но ведь падение метеоритов никто к затмениям не приурочивает.

В одном сходились все те, кто с самого начала верил в существование атмосфер у спутников Юпитера: большой плотностью, такой, например, как у Венеры, эти атмосферы обладать никак не могут. Иначе почему же удалось сквозь газовый покров наблюдать черты неизменной поверхности этих спутников? — спрашивали они. А их противники без труда парировали: — Зато на такой вопрос легко ответить, если этих атмосфер нет совсем. И вышедшая лишь десятка два лет назад в ФРГ книга заканчивала соответствующую главу пессимистической нотой: «... большинство наблюдателей ныне склоняется к мнению, что все четыре главных спутника Юпитера лишены ощутимой атмосферы».

А все-таки она есть!

В 1972 г. было противостояние Юпитера. В Гарвардском университете США этим не замедлил воспользоваться астроном Р. А. Браун. Он и стал первым, кто со всей несомненностью обнаружил, что Ио окружена сплошным облаком атомов, испускающих эмиссионные линии, соответствующие излучению натрия. Едва он сообщил об этом ученому миру, как такое утверждение было подхвачено и развито. Соотечественники Брауна Л. Трафтон, Т. Паркинсон и У. Мейси установили, что источник этого излучения занимает куда большее пространство, чем сама Ио; область, откуда оно идет, охватывает сферу диаметром в целых 20 дуговых секунд. Значит, спутник, действительно,

облачен атмосферой, и состоит она в основном из натрия. Нетерпение, с которым специалисты ожидали следующего противостояния, трудно описать.

Оно наступило в 1974 г. и в июле и августе почти каждую ночь в нескольких обсерваториях астрономы «ловили» излучение натрия, идущее к нам с Ио. Наблюдения принесли с собой как новые открытия, так и новые загадки. Существование атмосферы у спутника, как экзотично это в то время ни звучало, было снова подтверждено, но вот откуда берется составляющий ее натрий? Ведь известно, что на таком расстоянии от Солнца время ионизации этого вещества составляет лишь 10^6 с, то есть меньше двух недель, и за этот период процессы фотоионизации «губят» 50% наличного натрия. Атмосфера же спутника, по всей вероятности, существует не миллионы секунд, не полмесяца, а миллионы (если не миллиарды) лет. Как же выйти из такого тупика? Значит, должен быть где-то «склад», из которого поступает пополнение на смену гибнущим атомам натрия.

Таким «складом» может служить покрытая эвапоритами поверхность самой Ио. Так как продолжительность жизни атомов в этом облаке, по подсчетам У. Х. Смита из Гарвардского университета, составляет около 20 ч, то Ио должна «отпускать» ему каждую секунду не менее 10^7 , а может быть, даже 10^8 атомов натрия с каждого квадратного сантиметра своей поверхности. Несложный подсчет тогда показывает, что за все время существования Солнечной системы (если Ио ей ровесница, что весьма вероятно) площадочка в 1 см^2 подарила атмосфере 50 г натрия. Это совсем не так уж мало — натрий мог бы давным-давно исчезнуть из поверхностного слоя. Загадка оставалась нерешенной.

В декабре 1976 г. первые снимки натриевых облаков были получены Дж. Бергстралем, Д. Матсоном и Б. Голдбергом из Лаборатории реактивного движения (США). Фотографирование удалось благодаря разработанной Б. Голдбергом новой технике, которой был усовершенствован 24-дюймовый (60 см) телескоп обсерватории Тейбл-Маунтин в Калифорнии. Диск Ио был заслонен алюминиевым кружком на стеклянной пластинке.

Было получено два изображения, представляющих собой характерные для натрия эмиссионные линии (5890 и 5896 ангстрем). Оказалось, что размеры облаков примерно в шесть раз превышают диаметр Ио, причем это только самая внутренняя часть атмосферы.

Форма атмосферы оказалась непривычной для землянина. Когда в 1974 г. орбиту Ио тщательно изучили при помощи электронно-оптического спектрографа высокой эффективности, установленного на обсерватории им. Визе, сотрудники Тель-Авивского университета Ю. Меклер и А. Эвиатар обнаружили, что область, которая излучает спектральные линии, характерные для натрия, простирается очень далеко от спутника. По-видимому, только наиболее плотная часть этой газовой оболочки окружает саму Ио и как будто образует вокруг нее шар, а менее плотные области газовой оболочки растянуты по орбите. Как предполагали, эта область имеет форму, которую ученые именуют тором, а все остальные люди — бубликом или баранкой.

Совершенствование техники наблюдений позволило в феврале 1978 г. получить надежное изображение. При этом использовался тот же 24-дюймовый телескоп обсерватории Тейбл-Маунтин, что и в первом случае. Немного раньше группе исследователей из Гарвардского центра физики Земли и планет (Кеймбридж, штат Массачусетс), возглавляемой Ф. Дж. Меркреем, удалось получить изображение облачности Ио с использованием несколько иной методики. Работая на 1,5-метровом телескопе им. Агассиза (свет Ио на этот раз был блокирован просто кусочком черной ленты), они построили изображение облачности путем измерения яркости вдоль каждого из пятидесяти снятых сквозь узкое щелевое отверстие спектров.

В период с ноября 1976 по февраль 1977 г. было сделано около 60 таких снимков. Благодаря большому светосиле телескопа время выдержки удалось уменьшить до двадцати, а потом даже до пяти минут, что позволило снизить степень «смазанности» изображения быстро перемещающегося объекта по сравнению с теми снимками, которые делались в Лаборатории реактивного движения с трехчасовой и более выдержкой. Более совершенная техника позволила получить снимки с разрешением около двух секунд дуги, а съемка Гарвардской группы — лишь около четырех секунд дуги.

После обработки обоих комплектов снимков оказалось, что Ио отнюдь не находится в самом центре яркой части своей облачности, а сама эта облачность не представляет собой правильной сферы. Атомы, составляющие это облако, занимают пространство, которое по форме скорее напоминает не баранку, а ...банан.

Угол, под которым острый выступ «банана» направлен к радиусу орбиты Ио, составляет от 30 до 45°. Это особенно хорошо различимо на гарвардском снимке, сделанном 15 ноября 1976 г., где для земного наблюдателя Ио находится все еще в дальней части своей орбиты, как бы удаляясь от Юпитера.

Дополнительную информацию дали снимки, выполненные на Гавайской обсерватории. Там получили спектры излучения натриевого облака на различных и все возрастающих расстояниях от Юпитера, достигающих 34 радиусов этой планеты, что примерно в шесть раз превышает расстояние Ио от Юпитера. Судя по снимкам, эмиссия концентрируется в плоскости орбиты Ио, так как на расстоянии в 33 радиуса Юпитера к югу от этой плоскости свечение значительно уменьшается.

Но что же заставляет Ио отдавать свои запасы натрия? Известно, что Юпитер представляет собой гигантский магнит. Его магнитосфера простирается далеко, и даже орбита, по которой обращается Ио, лежит в глубине этой сферы влияния великой планеты. Магнитосфера вращается вместе с Юпитером (полный оборот этого огромного вместилища заряженных частиц занимает около 10 ч), и каждую секунду мириады протонов и ионов с различными энергиями обрушиваются на спутник, погруженный в их среду. Каждый такой удар выбивает с его поверхности и разбрызгивает во все стороны множество атомов натрия. (Особенно «усердны» тяжелые ионы; их эффективность в этом процессе примерно в 1000 раз больше, чем у протонов.) Подобная бомбардировка, несомненно, может служить механизмом пополнения запасов натрия в атмосфере Ио.

Натрий в газовой оболочке Ио преобладает, но он там не одинок. Ультрафиолетовое излучение, идущее из этой области, показало американским астрофизикам Д. Л. Джаджу и Р. У. Карлсону, что есть в атмосфере Ио и водород, — вообще-то самый распространенный

элемент во Вселенной, и было бы странно его здесь не встретить. Водородное «население» в облаке Ио насчитывает примерно около $2 \cdot 10^{33}$ атомов. Чтобы поддерживать его существование, каждый квадратный сантиметр поверхности Ио должен каждую секунду отдавать не менее 10^9 атомов водорода. Это облако, хотя и более разреженное, чем натриевое, тоже вытянуто вдоль орбиты Ио. Астрономы измерили размеры водородного облака Ио и установили, что его толщина меньше, чем диаметр Юпитера.

Водородные облака выглядят иначе, чем натриевые, и странности у них свои, и происхождение, по-видимому, совсем иное. Существует гипотеза, согласно которой эти облака порождены протонами, которые мощное магнитное поле Юпитера «взяло в плен» и отправило в «ссылку» на спутник. Здесь, в «неволе», соприкоснувшись с поверхностью Ио, эти протоны потеряли заряд, стали нейтральными и сбились в «облаков неуволнимых волокистые стада». Впрочем, все же уловимых. Астрономам удалось не только обнаружить их, но и установить, что они всегда вытянуты вдоль орбиты Ио. Вот только почему — пока еще непонятно.

В 1978 г. гавайские астрофизики К. Пилчер и Дж. Морган на конференции Американского астрономического союза рассказали коллегам о результатах своего наблюдения спектров излучения атмосферы Ио с длиной волны 6713 и 6716 ангстрем. Анализ этих спектров довольно четко указывал: в состав атмосферы Ио входит также ионизованная сера. Правда, яркость линий серы в тысячу раз меньше яркости линий натрия.

Собрание согласилось с докладчиками и приняло их мнение, что сера, как и натрий, поступает в воздушное пространство Ио с поверхности самого этого спутника. Но концентрируется ее излучение не вокруг спутника, а вокруг «главы семьи»: Юпитер, приняв этот подарок от Ио, носит вокруг своего чела гигантское гало. Действительно, внешняя граница этого украшения проходит более чем в полумиллионе километров от центра планеты, а внутренняя — в 250 тысячах км от него. Можно было бы сказать, что оно имеет форму баранки, но серное гало Юпитера почему-то незамкнуто, и причину этой странности еще предстоит отыскать.

Зато уже известно, что серная область отнюдь не сплюснута: наоборот, она распространяется «ниже» и «выше» магнитного экватора на десятки тысяч километров.

Так как Ио обращается вокруг Юпитера на расстоянии шести его радиусов от центра планеты, а серное гало охватывает широчайшую зону в пределах между 3,5 и 8 его радиусами, то можно говорить, что этот спутник как бы погружен в облако ионизированной серы. И это облако тоже составляет часть атмосферы Ио. Правда, в тех местах, где в данный момент проходит Ио, ширина серного гало Юпитера каждый раз немного сужается, и причина этого еще тоже неизвестна.

Еще под новый 1975 г. астроному Л. Трафтоу удалось доказать, что натрием и водородом в атмосфере Ио природа не ограничилась. Работая на 107-дюймовом (270 см) телескопе обсерватории Мак Дональд, он наблюдал калиевые облака. Впрочем, поражаться тут особенно нечему: калий с натрием — родственники, и там, где появляется один из этих элементов, очень часто встречается и другой. Разница в образованных ими на Ио облаках состоит в том, что натриевое, по существу, принадлежит не столько спутнику, сколько самой огромной планете — оно обнимает все космическое пространство, где живут ближайшие члены юпитеровой семьи, а калиевое облако осталось в исключительном владении Ио. В 1979 г. Пилчер и Морган обнаружили на инфракрасной спектрограмме «подпись» ионизированного кислорода.

В научной печати то появлялись сообщения о наблюдении в атмосфере Ио кальция, то опровергались. Но упрекнуть авторов сообщений в непоследовательности никак нельзя: слишком уж сложны наблюдения далекого и маленького объекта, живущего под боком величайшей из планет Солнечной системы.

А как обстоит дело с газовой оболочкой у остальных членов семьи Юпитера? В 1973 г. были получены инфракрасные спектры, которые позволили сделать предположение: не только у Ио, но и у остальных галилеевых спутников атмосфера вполне возможна. Из них Каллисто «подозревается» в том, что хранит в тайне содержащую NH_3 и CH_4 (а ведь это тот самый метан, существование которого на спутниках десятиле-

тия назад предсказывал академик В. Г. Фесенков!), но, очевидно, очень слабенькую газовую оболочку.

На более крупном Ганимеди она, в принципе, может быть значительнее. Именно из-за неясности с его газовой оболочкой возникает и неопределенность при установлении размеров и средней плотности твердого тела этого спутника. Если атмосфера велика, то придется уменьшить оцененный по альбедо диаметр, а с ним и плотность. Когда в 1972 г. Ганимед затмил собой одну из далеких звезд, большая группа ученых из разных стран, руководимая Р. У. Карлсоном (США) и Дж. С. Бхаттачарией (Индия), наблюдавшая это явление, с уверенностью заявила: «Ганимед обладает атмосферой». К этому выводу их привел тот факт, что покрываемая Ганимедом звезда тускнела не мгновенно, как было бы, если бы ее сразу заслоняло непрозрачное тело, а постепенно. Возможно, что атмосферное давление у поверхности спутника находится в пределах между 10^{-1} и 10^2 Па.

Некоторые ученые даже указывали на возможность такого «приятного» нам, землянам, состава этой атмосферы, которая, помимо незначительного количества NH_3 и CH_4 , включает большой объем кислорода и водяных паров: лед-то на поверхности Ганимеда есть, температура позволяет ему испаряться, вода при определенном давлении может диссоциировать, освободившийся кислород удерживается крупным небесным телом около себя. Кислородсодержащая, насыщенная влагой воздушная оболочка... А что, если жизнь?.. Впрочем, от этого чрезвычайно смелого предположения лучше воздержаться до более близкого знакомства с Ганимедом.

Амальтея же и Европа слишком малы, чтобы сохранить около себя газовое покрывало. Впрочем, слабенькая, очень разреженная и непостоянная атмосфера все же не совсем исключена и у них. А вот об атмосфере у всех внешних спутников — Леды, Гималии, Лиситеи, Эллары, Ананке, Карме, Пасифе и Синопе — и речи быть не может. При радиусах, измеряющихся всего лишь несколькими километрами, пусть даже десятками километров, им приходится заведомо отказаться от подобной роскоши...

Несколько лет назад советские ученые получили подарок: на Северном Кавказе, вблизи станции Зелен-

чукской (Карачаево-Черкесская АССР) вступил в строй самый большой в мире радиотелескоп «РАТАН-600» (Радиотелескоп Академии наук СССР диаметром 600 м). Гигантское кольцо позволило «сощуриться» так, как ни один оптический телескоп в принципе не может: его разрешающая способность в сантиметровом диапазоне волн достигает 0,0004 угловой секунды. Вскоре же после вступления радиотелескопа в строй было сделано открытие: Ио является очень интенсивным излучателем энергии в радиодиапазоне.

Вообще-то всякое тело, если его температура выше абсолютного нуля, обладает излучением во всех диапазонах волн — от рентгеновского до длинноволнового радиодиапазона. Но у обычного спутника, своей тепловой и световой энергией не обладающего, а лишь отражающего ту, что шлет ему Солнце, полная излученная энергия равна полученной им от светила. А вот Ио как-то, «вопреки» закону сохранения энергии, ухитряется излучать больше, чем приобретает от Солнца!

Когда сведения об этом открытии ученых Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (ей принадлежит «РАТАН-600») стали известны, они послужили подспорьем гипотезе, согласно которой Ио все еще хранит в себе «древнее» избыточное тепло.

Проверка такой гипотезы математическим моделированием на ЭВМ ее в общем подтвердила, но только одним тепловым эффектом объяснить радиоизлучение Ио компьютер отказался. Если бы Ио излучала как обычное разогретое тело, то ее излучение на коротких радиоволнах обладало бы куда большей мощностью, чем на длинных. А «РАТАН» докладывает: дело обстоит как раз наоборот. И не у одной Ио: Ганимед, Каллисто и Европа тоже оказались как будто бы теплее ожидавшегося и, как выяснилось, служат мощными радиостанциями, «вещающими» на длинных волнах.

Тут же родились противоречащие друг другу предположения. По одному из них во всем виноват парниковый эффект: внушительный ледниковый покров способствует сбережению внутреннего тепла этих небесных тел.

По другому предположению у Ио, совсем как у планет — у Земли, Юпитера, например, — есть свои соб-

ственные пояса радиации и магнитное поле. Они-то и превращают скромный спутник в мощную радиостанцию. Какая из гипотез правда — покажет только время.

От станции Зеленчукской до города Аресибо, что на острове Пуэрто-Рико, расстояние немалое. Но их объединяет астрономия: в Аресибо стоит радиотелескоп, бывший до недавнего времени самым крупным в мире, и там тоже исследуют спутники Юпитера. В 1978 г. сюда приехали научные сотрудники Массачусетского технологического института (США) С. Дж. Остро и Дж. Х. Петтенгил. Они выполнили здесь радиолокационные наблюдения этих небесных тел на волне 12,6 см.

При этом была обнаружена странная особенность получаемого на Земле радиосигнала. Судя по нему, местность на Ганимеде и Ио очень пересеченная, и радиоволна сперва отражается от одной стенки кратера под углом примерно 45° (считая от его дна), затем — от другой в эквивалентной ее точке и, потеряв часть своей мощности, возвращается на Землю. Подходящие для этого размеры кратера должны быть примерно 1 км в диаметре и 300 м в глубину. Впрочем, все это еще нужно проверять другими методами исследования.

Космические автоматы совершают переворот

Читатель, наверное, уже обратил внимание: весь рассказ о семье Юпитера велся пока так, как будто люди с нею могут знакомиться, только не покидая Землю. Но ведь на самом-то деле человечество уже простерло свою руку в сторону далеких окраин Солнечной системы, куда раньше достигал лишь его взор.

Посланцы Земли — автоматические межпланетные станции «Пионер-10» и «Пионер-11» впервые сблизились с Ганимедом — один в декабре 1973 г., а другой ровно год спустя. Сближение, конечно, было относительным: автоматы изучали спутник с расстояния около 750 000 км. Но ведь не с того же без малого миллиарда километров, что обычно отделяет Юпитер и его «свиту» от астрономов нашей планеты.

В Университете штата Аризона Т. Герелс с сотрудниками заложил в электронную вычислительную машину материалы, присланные обоими «Пионерами» из окрестностей Ганимеда. ЭВМ подтвердила, что его поверхность испещрена кратерами метеоритного происхождения. Анализ орбиты, по которой «Пионер-11» пролетал вблизи Ганимеда, показал, что он обладает плотностью, сильно уступающей плотности вещества нашей планеты. Она составляет примерно $1,9 \text{ г/см}^3$, а не около 7 г/см^3 , как предполагалось ранее. Значит, Ганимед состоит наполовину... из воды!

Очевидно, в разрезе этот спутник выглядит примерно так: в середине каменистое ядро, размером с нашу Луну, затем обширная водная мантия, а сверху она прикрыта ледяной корой толщиной от 500 до 600 км. На твердь ядра приходится около 50% массы всего спутника; оно «сделано» главным образом из силикатов и окислов различных металлов.

Мантия Ганимеда, хотя и застывшая, но неподвижной ее назвать никак нельзя. Тепло, вырабатываемое радиоактивными элементами в каменистом ядре, стремится выйти на поверхность и заставляет огромные глыбы льда медленно поворачиваться, отдавая тепло поверхностному слою, и снова погружаться в недра.

Судя по первым снимкам, сделанным «Пионером-10», лед и каменистые россыпи лежат на поверхности Ганимеда попеременно, участками протяженностью в сотни километров. Впрочем, дело не только в фотографиях. Вычисления тоже показывают, что, будь лед и камень размещены не участками, а вперемешку, тепловой контакт между ними выровнял бы температуру на всей поверхности Ганимеда всего за один его оборот вокруг Юпитера. На самом же деле температуры разных участков там довольно контрастны.

Лед на Ганимеде очень шероховат и неровен, покрыт толстым слоем инея, или измороси. Правда, крупных кратеров, несмотря на то, что падение метеоритов там явление нередкое, на Ганимеде быть не должно: лед — не камень, он куда пластичнее, и «раны», наносимые космическими пришельцами, должны затягиваться быстро.

В задание «Пионера-10» были включены измерения излучений в инфракрасном диапазоне, которые позволяют судить о погоде и климате на спутниках. Никаких особенностей он, впрочем, не обнаружил: на Ганимеде температура была, как и ожидали, около 145°C ниже нуля, а на Каллисто — 163°C . Через год было получено сообщение «Пионера-11»: на Каллисто — минус 100°C . И это подтверждало измерения, сделанные ранее на РАТАНе.

Уточнены были и плотности спутников. Ио оказалась настолько плотной, что кажется даже и не прирожденным членом этой семьи. Снова зазвучали предположения, что Ио или сконденсировалась в той части протопланетного облака, которая уже тогда отличалась большей сгущенностью, или же что она вообще была некогда захвачена притяжением Юпитера, а до того была совсем самостоятельной планетой, вращавшейся вокруг Солнца где-то в районе Марса — ведь и плотности у них сходные. Может быть, все это и позволило Ио сохранить свою атмосферу, существование которой, кстати, также подтвердил «Пионер-10».

Другая луна — Европа — тоже оказалась слегка плотнее, чем думали, когда основывались лишь на измерениях с Земли. Кубический сантиметр ее материи имеет массу явно более тех трех граммов, которые называли раньше. Каллисто также «поправилась»: вместо $1,3$ ее плотность, как выяснилось, достигает $1,8 \text{ г/см}^3$. А Ганимед, наоборот, «похудел»: теперь стало ясно, что его средняя плотность составляет примерно $1,9 \text{ г/см}^3$ или чуть-чуть больше. Не так уж существенно? Но поправка в массе составит около десятой доли нашей Луны!...

Еще с четверть века назад открыли, что Юпитер (как и Солнце) — своего рода могучая радиостанция. Время от времени он начинает «вещать» в декаметровом радиодиапазоне с такой силой, которая была бы подстать передатчику с невиданной мощностью — что-нибудь около 100 миллионов ватт.

Затем радиоастрономы обнаружили загадочный факт: стоит Ио занять положение перед Юпитером, как мощность этого «передатчика» еще более возрастает. Объяснения не было, пока в самом конце 1973 г. «Пионер-10» ненадолго спрятался от людского взора «за спиной» Ио. Радиосигнал, посылаемый космиче-

ским аппаратом, изменялся в момент его захода за Ио и выхода из ее «радиотени», причем так, что это доказывало: у спутника есть ионосфера.

По ее воздействию на радиосигнал можно было даже определить температуру ионосферы. В дневной части она была около 400—500 К, а в ночной — примерно 150—200 К. Появилась также возможность судить и об атмосферном давлении на Ио. Оказалось, что оно не превышает 10^{-4} — 10^{-5} гПа. На нашей планете такое давление наблюдается лишь на высоте в 200—300 км над уровнем моря...

Но ведь ионосфера — тот самый заряженный электричеством высокий слой воздуха, который у нас на Земле позволяет осуществлять дальнюю радиосвязь. Как это влияет на работу гигантской «радиостанции», именуемой Юпитером?

Задание разведать, как обстоит дело, дали «Пионеру-11». Расшифровав его донесения, ученые Калифорнийского университета пришли к выводу: силовые линии непомерного магнита, которым служит Юпитер, проходят как раз «сквозь» Ио. А сам этот спутник представляет собой что-то вроде реостата или скользящего контакта.

Когда Ио проходит по своей орбите через магнитное поле Юпитера, ионосфера спутника сортирует скопившиеся там заряды, совсем как Творец сортирует души смертных на Страшном суде: положительные оказываются по одну его сторону, а отрицательные — по другую. Так между ними образуется электрический потенциал, достигающий 400 киловольт.

Стоит Ио занять в небе Юпитера определенную позицию, как возникает мощный разряд, электрический ток в миллионы ампер устремляется по магнитно-силовым линиям от спутника к планете. Ионосфера самого Юпитера отражает этот поток к Ио, а оттуда он мчится обратно, замыкая электрический контур. Тут, оказывается, и возникает та буря энергичных электронов, та вспышка в декаметровом диапазоне радиоволн, которая регистрируется нами, находящимися чуть ли не в миллиарде километров от «радиопередатчика».

То, что у Юпитера есть магнитное поле и ионосфера, означает, что на нем должны быть полярные сияния, и их обнаружил «Вояджер-1», причем не там,

где в это время стояла ночь, а на дневной стороне Юпитера!

Когда же «Вояджер» миновал планету, его фотокамера засняла (теперь уже на ночной стороне) гигантскую дугу полярного сияния — она протянулась на 30 000 км, что у нас на Земле дело небывалое. Да и яркость ее намного превышала те сияния, что видят наши полярники. «Поджигателем» такого великолепного фейерверка служит, конечно же, Ио: сияния явно возникают там, где ее «баранка» ионизованной серы проектируется на атмосферу Юпитера, вдоль его магнитных линий.

Приборы, установленные на борту «Пионера-11», должны были проверить сделанное лет за пятнадцать до того, по наблюдениям покрытия Ганимедом одной из далеких звезд, предположение, согласно которому у этого спутника есть водородная атмосфера. Как ни странно, они решительно не обнаружили характерного для водорода ультрафиолетового свечения. Значит, газовая оболочка Ганимеда, если и существует, то очень разреженная, и водорода в ней, очевидно, нет.

А вот магнитными свойствами, и немалыми, этот спутник обладает. «Пионер-11» установил, что в собственных окрестностях Ганимед даже оказывает заметное влияние на магнитосферу самого Юпитера. Своим магнитным полем Ганимед «выметает» часть заряженных частиц, обычно удерживаемых магнитосферой великой планеты. Видимо, Ганимед — любимец владыки Олимпа — и здесь как-то ухитряется влиять на своего могучего покровителя, и в этом ему помогают Ио, Каллисто, Европа и даже маленькая Амальтея.

Аппараты «Вояджер» были запущены один в августе, а другой — в сентябре 1977 г. Хотя они двигались куда быстрее, чем любой другой космический аппарат (орбиту Луны «Вояджеры» пересекали всего через 10 часов после запуска, а советские лунники и американские «Аполлоны», летя в несколько раз быстрее винтовочной пули, достигали ее за трое суток!), ученым пришлось на этот раз набраться терпения: в район Юпитера их посланцы добирались чуть ли не полтора года. В пути им пришлось преодолевать знаменитый пояс астероидов, лежащий между Марсом и Юпитером, но на Земле к этому теперь относились

уже довольно спокойно: ведь разведчики «Пионеры» уже побывали там, и, судя по их донесениям, плотность частиц в поясе настолько мала, что столкновения можно было практически не опасаться.

Здесь надо сказать, что первый «Вояджер» был..., вторым, а второй, как ни странно,— первым. Дело в том, что запущенный раньше аппарат шел по менее выгодной траектории и прибывал к месту назначения позже. А тот, что покинул Землю позже, идя по наиболее удобному пути, подошел к Юпитеру раньше и стал называться «Вояджером-1».

Чуть ли не за три месяца до того, как достигнуть точки своего наибольшего сближения с Юпитером, лежащей от него в 350 000 км, «Вояджеры» (рис. 8) начали его изучение. И в этом они достигли исторических результатов, которые заслуживают отдельного подробного рассказа. Мы же здесь ограничимся более узкой темой: не Юпитером, а лишь членами его семьи, знакомство с которыми тоже послужило немалым вкладом в науку.

5 марта 1979 г. «Вояджер-1» подошел к великой планете и постепенно начал заходить за нее. Но прежде чем на время исчезнуть из поля зрения земного наблюдателя, он пролетел в 22 000 км прямо под южным полюсом Ио. Затем, пройдя между Ио и Юпитером, аппарат пересек их общие магнитно-силовые линии и собрал информацию об этой интригующей магнитосфере: электрической «пуновине», соединяющей планету с ее спутником.

За следующие сутки «Вояджер-1» посетил Европу, Ганимед и Каллисто, пройдя, соответственно, в 750, 130 и 130 тысячах км от каждого из них. Все это — уже на пути из «дома» Юпитера, а наибольшее сближение с Амальтеей — 440 000 км от нее — состоялось незадолго до этого, еще на пути к системе великой планеты.

Природа не очень-то охотно расстается со своими тайнами. Так и на этот раз, исследованию спутников Юпитера совершенно неожиданно помешала... погода на Земле. Как раз в этот период, когда «Вояджер-1» мог наблюдаться только станцией слежения, расположенной в Австралии, вблизи Канберры, там разразилась сильнейшая гроза. В течение трех часов она не давала информации, пролетевшей чуть ли не миллиард

километров, преодолеть последний десяток километров земной атмосферы и быть принятой антеннами станции. В результате потеряна часть ценных данных.

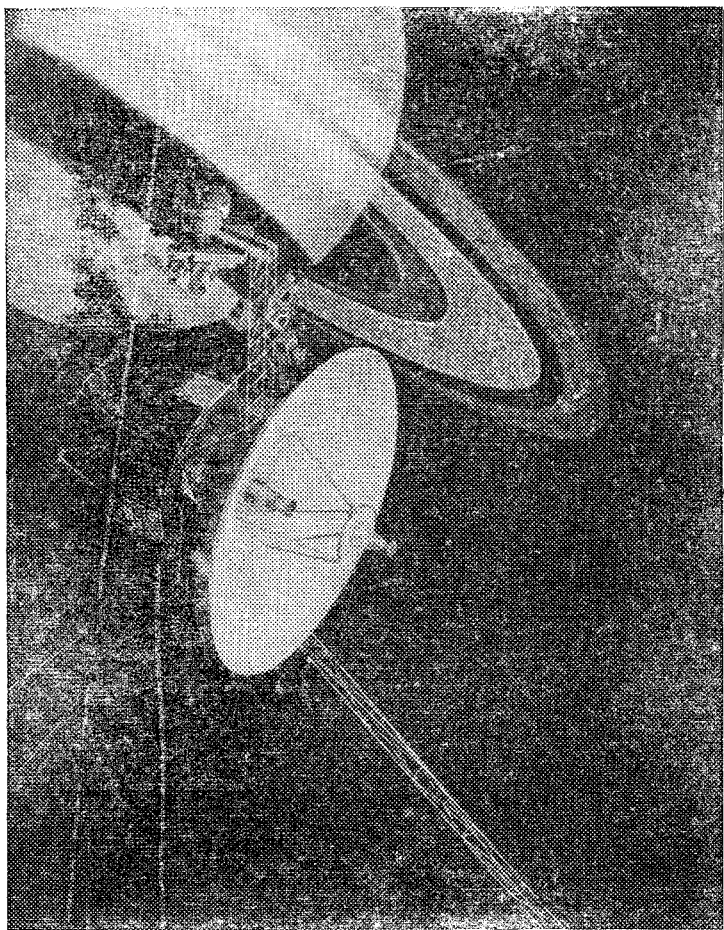


Рис. 8. Космический аппарат «Вояджер» (рисунок). Его масса — 808 кг, масса научных приборов 105 кг, диаметр антенны 3,7 м.

Особенно интересными из них должны были быть материалы, связанные с ультрафиолетовым излучением натрия, образующего облака над Ио.

9 июля 1979 г. в 716 000 км от центра Юпитера проследовал «Вояджер-2» (рис. 9). Его приборы приступили к познанию юпитеровой системы, как уже говорилось, почти за три месяца до этого момента, и можно считать, что вместе с «Вояджером-1» они держали этот загадочный мир под своим пристальным взглядом в течение восьми месяцев подряд.

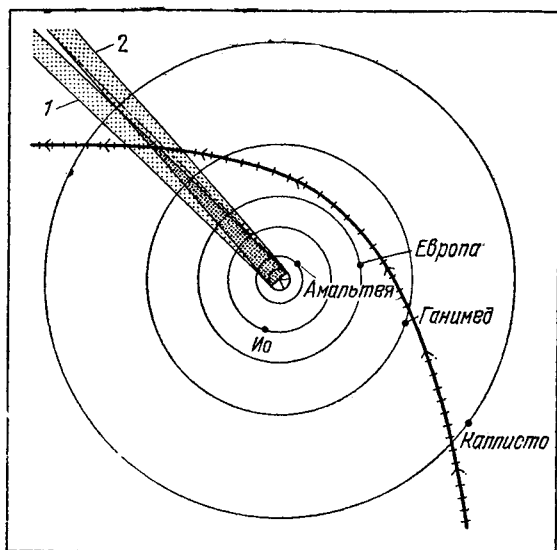


Рис. 9. Космический аппарат «Вояджер-2» посещает семью Юпитера. 8—9 июля 1979 г. межпланетная станция прошла всего в 215 тыс. км от Каллисто, 62 тыс. км от Ганимеда, 206 тыс. км от Европы, 558 тыс. км от Амальтеи и 1 млн. 130 тыс. км от Ио. В результате на Землю поступили тысячи четких фотографий планеты, ее внутренних спутников и кольца. На схеме заштрихованы области, где тень Юпитера закрывает от «Вояджера» Солнце (1) и Землю (2). Штрихи на траектории «Вояджера» нанесены через каждые 2 ч его полета.

Второй аппарат прошел ближе всего от Ганимеда (62 000 км), затем — от Европы (206 000 км), Каллисто (215 000 км) и Амальтеи (558 000 км). «Вояджер-2» в два с половиной раза ближе подступил к Ганимеду и почти в четыре раза — к Европе, чем его предшественник.

Но не только в расстоянии дело, а и во времени: важно, как его расходовать. Период, за который радиосигнал с Земли достигает окрестностей Юпитера, составляет более получаса. Поэтому команду, поданную людьми, в реальное время бортовая аппаратура практически выполнить не могла бы. В связи с этим большая часть научного задания «Вояджер» была заранее запрограммирована.

Вот для примера лишь один час с небольшим из распорядка дня на 4 марта 1979 г.: «...13 мин фотографировать Большое Красное пятно Юпитера; 12 мин фотометрических измерений темного пространства вблизи планеты (цель — проверка гипотезы о существовании там пылевого кольца), 3 мин радиоастрономических наблюдений плазменной волны Юпитера в полосе частот 40 мГц — 1,2 кГц (цель — выяснить ход электромагнитного взаимодействия между планетой и Ио). На проходе в 20 000 км «под» южным полюсом Ио пересечь насыщенную заряженными частицами «трубку», которая соединяет спутник с планетой. Затем за 22 мин сделать 14 фотографий Ио. (Интересно заметить, что этому спутнику уделялось такое внимание, что даже в момент наибольшего сближения с планетой основной целью измерений являлась не она сама, а Ио.) В дальнейшие 9 мин — шесть снимков Европы с расстояния 1 783 000 км. (На следующие сутки — с почти вдвое меньшего расстояния.) И, наконец, еще за три мин — три фотоснимка Амальтеи с целью поиска следов атмосферы».

Все перечисленное, охватывающее 1 ч 11 мин, занимало в программе «Вояджера-1», представляющей собой целую книгу, лишь несколько строчек. Можно себе представить напряжение, с которым должны были действовать приборы на борту и люди на далекой Земле, чтобы все такие минуты и секунды не пропали даром!

Вот эти-то минуты и принесли с собой подлинный переворот в наших знаниях о галилеевых спутниках Юпитера. Если даже судить только с количественной, а не качественной точки зрения, за какое-нибудь полугодие человечество узнало об этих небесных телах больше, чем за все три с половиной века, истекших со дня их открытия.

Что же поведали нам два космических «Путника», прошедших ради познания истины титаническое расстояние в миллиард километров?

Еще пользуясь методами наземной астрономии, по наблюдению излучений в инфракрасном диапазоне ученые узнали о том, что на орбите Ио находится ионизованная сера. Теперь же ультрафиолетовый спектрометр, прибывший в эти края на борту «Вояджера-1», получил спектр, указывающий на такие высокие температуры, при которых сера должна быть не однажды, а дважды ионизована, да и количество ее в десятки раз превышает ранее предполагавшееся количество *).

С особым вниманием «Вояджер» изучал поверхность Ио. Наземные данные говорили о ее желтоватой окраске, которая ближе к полюсам приобретает красный оттенок. Но среди желтовато-красных полей, характерных для эвапоритов, «Вояджер» заметил еще и отдельные белые пятна, а кое-где и углубления, «залитые» чем-то угольно-черным. Что бы это могло быть? Пока это было неизвестно.

Рельеф местности на Ио скучноватый — главным образом, гладкая равнина. Но встречаются и холмы, а один кольцообразный объект достигает в поперечнике ни много, ни мало полутора тысяч километров (рис. 10). Что это за «стадион» — тоже остается загадкой.

Те, кто изучал Марс, знают, что на нем встречаются так называемые области обрушения. Их обычно объясняют тем, что весной на Красной планете происходит быстрое таяние распространенной там вечной мерзлоты, а за ним следует обширная, хотя и неглубокая просадка почвы. «Вояджер» впервые обнаружил что-то аналогичное и на Ио.

А вот кратеров на Ио, как будто, очень мало. Космогеолог Л. Содерблом сопоставил кратерные характеристики Ио и Луны, их возраст и частоту встречаемости и решил: нынешняя поверхность Ио еще очень молода, ее возраст, вероятно, не достигает и 10 миллионов лет. Почему? Сперва высказывались догадки на

*) Позже оказалось даже: сера там ионизована трижды, что бывает в природе не часто и говорит об очень больших энергиях, замешанных в этом процессе.

выбор: активная миграция солей, внутренние геодинамические («иодинамические» — еще непривычно) процессы или бомбардировка заряженными частицами из магнитного поля Юпитера могли бы «омолаживать» поверхность Ио. Что открылось потом, мы расскажем немного ниже.

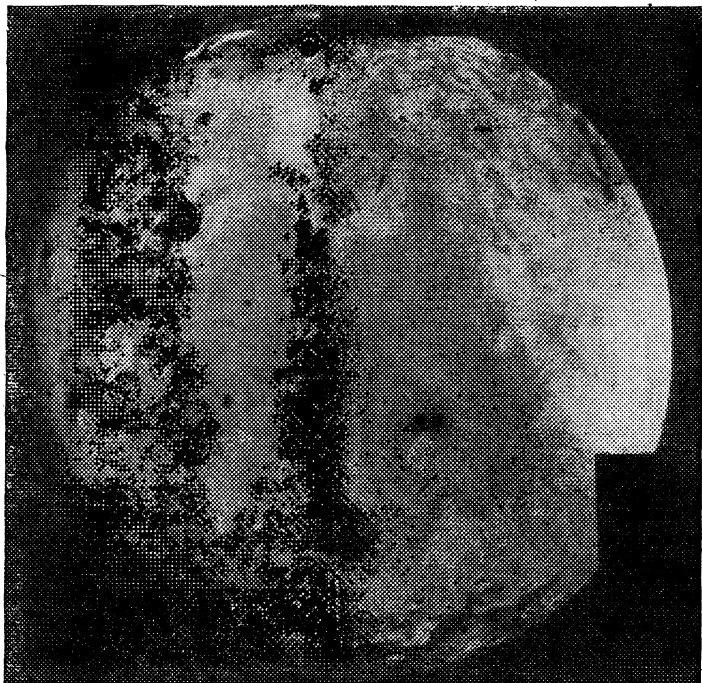


Рис. 10. Ио, сфотографированная «Вояджером-1» 4 марта 1979 г. с расстояния всего в 380 тыс. км. Различимы детали поперечником 8 км. Правее и ниже центра — кольцеобразный район, из которого вытекают заметные на снимке потоки лавы. В левой верхней части диска темная «подкова», по-видимому, лавовое озеро.

Важное место в программе «Вояджера-1» занимала и Европа. Беловато-оранжевая окраска и большая отражающая способность и раньше говорили, что немалая часть ее поверхности покрыта ледяной «глазурью». «Вояджер» добавил: этот лед, очевидно, заполнил со-

бою все кратеры, иначе чем объяснишь, что их на Европе вовсе нет. Приборы космического аппарата обнаружили также гигантские вытянутые объекты, причем некоторые из них достигают сотни километров в ширину и нескольких тысяч километров в длину. Тут же разгорелся спор: одни считают, что это подобие каньонов, недавно открытых на Марсе, а другие утверждают, что они для этого слишком мелки и представляют собой нечто лежащее на поверхности. Но что?

Не ответив на этот вопрос, «Вояджер» направился к Ганимеду. В повестку дня стала проблема кратеров. Их на этом спутнике оказалось даже больше, чем в лунных морях, где, правда, многие кратеры частично залиты базальтовыми потоками. Однако ганимедовские кратеры, в отличие от тех, что обычны на лунных нагорьях, друг от друга несколько отстоят, не касаясь внешними обводами один другого. Куда деваются «промежуточные» кратеры? Если они стираются эрозией, то все равно должны были бы наблюдаться следы крупных кратеров, находящихся в различных стадиях разрушения. А их нет как нет.

Попытку разрешить загадку сделал сотрудник Брауновского университета (США) М. Дж. Синтала. Он давно уже занимался анализом процессов, происходящих при падении метеоритов на поверхности различных тел, сложенных разными породами. Вот, например, на Луне с ее каменистой оболочкой удар небесного тела вызывает отдачу, упругое восстановление поверхности и выброс наверх материала из глубины. Так и образуется столь характерный для Луны «цирк» с небольшой, но крутой горкой в самом его центре.

Более же слабая, чем камень, порода, например, лед, ведет себя иначе. При ударе хрупкий лед разлетается во все стороны, оставляя в месте падения не горку, а наоборот, глубокую впадину.

Выступив в 1979 г. на X конференции по наукам о Луне и планетах в Хьюстоне (Техас), Синтала показал аудитории снимки Ганимеда и Каллисто, сделанные «Вояджером-1», и все убедились: в центре кратера там не горка, а углубление. Пожалуй, и вправду, эти небесные тела покрыты ни чем иным, как лед, — согласилось большинство.

И еще одна новость о Ганимеде. «Вояджер-1» открыл на нем множество вытянутых линейных образований, очень уж напоминающих те поперечные разломы коры, что встречаются у нас на Земле в районах активных горообразовательных процессов. Некоторые из них указывают, что поверхность Ганимеда испытывала перемещения на протяжении сотен километров. С уверенностью говорить рано, но если это подтвердится, то Ганимед должен стать первым небесным телом, где открыто нечто схожее с земной тектоникой и рождением горных хребтов.

А может быть не только горообразование роднит Ганимед с Землей? Светлые полосы борозд на нем подозрительно напоминают ледники в полярных областях нашей планеты с их столь характерными трещинами. Ведь и на куполе Антарктиды, там, где ложе ледника переходит от пологого места к крутому, около ледопада, лед начинает растрескиваться. Может быть, нечто подобное происходит и на богатом льдами Ганимеде?

Подлинная пора оживления для любителей кратеров пришла вместе со снимками Каллисто, присланными «Вояджером-1». Количество «цирков» здесь оказалось раз в десять больше, чем на Ганимеде. Один такой бассейнообразный объект имеет поперечник больше полутора тысяч километров. Можно только поражаться тому, каким должен был быть тот катаклизм, что некогда породил кратер столь гигантских размеров.

Это «окольцованное» образование напоминает Море Восточное на Луне, но только куда более крупное. Десять окружающих его уступами колец состоят из асимметричных гряд, крутой склон которых обращен к центру впадины. Если считать и их, то общий диаметр этого невиданного «стадиона» — что-то около 3000 км! Вдобавок на Каллисто обнаружили и еще одно подобное углубление с концентрическими грядами вокруг, но поменьше: его диаметр «всего лишь» 1000 км. Стоит задуматься над масштабами космических катастроф, которые оставили на этом спутнике такие гигантские шрамы (рис. 11).

Зато разломов в коре Каллисто, очевидно, нет. И, вообще, судя по очень гладкому краю изображения

Каллисто на фотографиях, больших гор на ней быть не должно и весь рельеф, скорее, носит равнинный характер, пересеченный лишь кратерами, сквозь которые проглядывает глубинный лед. Многие из этих кратеров окольцованы ступенчатыми уступами, как будто кто-то бросил гигантский камень в пруд и огромные волны внезапно застыли.

А вот фотография Амальтеи — единственного из негалилеевых спутников Юпитера, посещенных «Вояд-

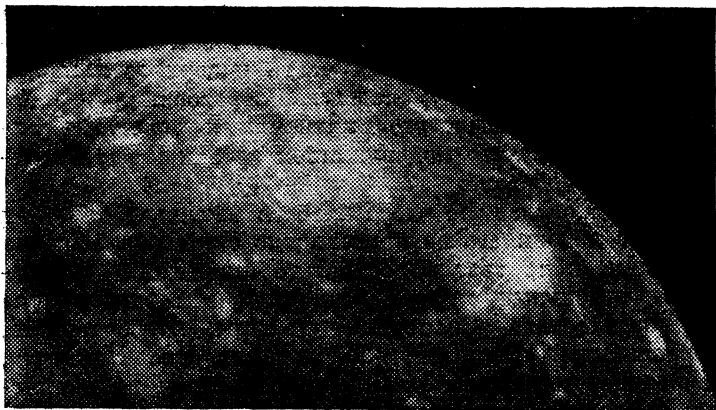


Рис. 11. Кратеры усеивают поверхность Каллисто. На снимке, сделанном «Вояджером-1» с расстояния 350 тыс. км, видна тысячекilометровая кольцеобразная «рябь» вокруг одного из кратеров.

жером-1», который, правда, прошел несколько в стороне от него. Все-таки, снимки были отличными, и на них можно заметить: тело Амальтеи, оказывается, вытянуто так, что одна ее ось почти вдвое длиннее другой. Это открытие поставило Амальтею на первое место по продолговатости среди всех спутников в нашей Солнечной системе. Известно лишь два астероида, тела которых вытянуты еще сильнее, чем у нее. Возможно, это подтверждает астероидное происхождение и Амальтеи: такая маленькая планетка могла в отдаленном прошлом оказаться захваченной тяготением могучего Юпитера и потерять «независимость». Однако

чтобы делать уверенные выводы об этом, одних сведений о строении фигуры небесного тела маловато.

«Вояджер-2» заново исследовал галилеевы спутники (более подробно Европу, Ганимед и Каллисто и совсем мало Ио).

Специалисты всегда жаждут вновь увидеть «первозданную» поверхность какого-либо небесного тела. Она должна быть свидетелем той мощной, безжалостной бомбардировки, которой подвергалось всё в нашей Солнечной системе на заре ее существования. Несколько таких «заповедников» есть на Луне, немного — на Меркурии, Фобос сам представляет собой такой «заповедник», но куда бо́льшая часть поверхности любой планеты покрыта молодыми образованиями — где лавовыми потоками, где внутренними породами, вывернутыми наружу под влиянием эрозии или тектонических воздействий.

И вот оказалось, что Каллисто выглядит так, как будто с ней ничего не происходило с тех пор, как она появилась на свет в результате аккреции — «слипания» отдельных кусков первичной материи в ходе «строительства» Солнечной системы. Изображения, присланные «Вояджером-2», говорят, что Каллисто, вероятно, чемпионка всей нашей системы по количеству кратеров, которые покрывают буквально всю ее поверхность, не оставляя места ни для чего, подобного широко раскинувшимся лунным морям или межкратерным равнинам.

Замечены два крупных (тысячи в полторы километров диаметром) «бычьих глаза» — района, где посреди концентрических кругов «крепостного вала» число кратеров несколько убывает, а в остальном — кратер на кратере, ни площадочки ровной. Для специалиста — подлинный музей, экспозиция того, как выглядело небесное тело примерно четыре миллиарда лет назад.

Но вот что прибавляет странности этому зачарованному миру, так это почти полное отсутствие у кратеров Каллисто скалистых стен, обычно окружающих всякий такой цирк на Луне. Нет здесь также столь типичных центральных горок, повсеместно украшающих лунные кратеры. Все это говорит в пользу гипотезы: Каллисто представляет собой ком льда.

И еще одна загадка: хотя все эти кратеры очень похожи друг на друга, поверхность Каллисто все же

не однообразная. Когда снимки подвергали обработке то в том, то в другом свете, становились заметными крупномасштабные отличия одной местности от другой. Что их вызывает, может быть, расскажут инфракрасные снимки, анализ которых — дело длительное. Если и они не дадут ничего нового, то придется ждать, когда на орбиту вокруг Юпитера выйдут космические аппараты следующего поколения.

Вдвое ближе, чем первый его собрат, подойдя к Ганимеду, «Вояджер-2» смог фотографировать этот спутник чуть ли не с полусотни тысяч километров. Еще до его подлета ученых интересовали прямо-таки классические разломы коры, нередко «пучком» тянувшиеся на Ганимеди параллельно друг другу в областях, достигающих 100 км в ширину.

Местами эти «пучки» разломов смещены в сторону, сдвинуты вбок опять-таки «заимствованными из учебника по геологии» поперечными разломами. Все это удивительно напоминает нашу земную тектонику, и сторонники гипотезы дрейфа континентов уже готовы видеть здесь космические доказательства движения плит, линейных, вращательных и других столь привычных им смещений коры. Спор, столь увлекающий в последнее десятилетие геофизиков и геотектонистов, таким образом, вышел за пределы Земли и стал предметом молодой науки — сравнительной планетологии...

При изучении фотографий в глаза исследователей бросилась существенная разница между Ганимедом и Каллисто. Казалось бы, по размеру они принадлежат к одному и тому же классу очень крупных спутников, по орбитам они соседи, плотности материи отличаются не слишком сильно. Однако поверхность Каллисто почти сплошь усеяна ударными кратерами, как будто она побывала под бомбежкой, а на Ганимеди их очень мало, зато там чрезвычайно много разломов коры, возникающих при тектонической активности.

Объяснить различие поверхностей двух спутников взялись сотрудники Эймсовского исследовательского центра П. Кассен и Р. Т. Рейнолдс. Они считают, что основная причина этого заключается все же в значительном несовпадении размеров: разница между диаметрами спутников составляет не менее трехсот с лишним километров (а может быть и около четырехсот), да и различие в плотности сказывается: каждый

кубический сантиметр тела Ганимеда имеет массу на одну-две десятые грамма больше, чем у Каллисто. Вроде бы, не так уж много. Однако благодаря этой разности Ганимед, очевидно, обладает ядром, масса которого вдвое больше массы ядра Каллисто.

Многие специалисты полагают, что большинство кратеров, наблюдаемых на поверхности нашей Луны, Меркурия и Ганимеда, возникло, когда Солнечная система еще была совсем молодой, — возможно, в первые полмиллиарда лет ее существования. Как раз тогда было много больше метеоритных тел, чем нынче, и столкновение с ними было делом нередким.

Кассен и его коллеги подсчитали все запасы тепловой энергии, какие могли быть в сокровищнице Каллисто, и убедились: она их израсходовала прежде, чем завершилась эпоха интенсивной метеоритной бомбардировки. Значит, сил, способных тектоническими движениями поверхности «зарубцевать» следы метеоритных ранений, у Каллисто вскоре уже не было. Поэтому оспины и шрамы кратеров видны на ней и сегодня.

А Ганимед был искони богаче источниками тепла. Здесь и скопление радиоактивных элементов, и силы тяготения, связанные с образованием массивного ядра, так что тектоническим процессам было откуда черпать энергию, перерабатывая поверхность, затягивая рубцы и рытвины, наносимые падением метеоритов. Даже и сегодня, когда эра «бомбежки» давно завершена, тектонические разломы все еще различимы на поверхности Ганимеда.

Впрочем, «Вояджер-2» открыл на Ганимеде... участок Каллисто. Действительно, один его крупный кольцеобразный район, ограниченный со всех сторон разломами, сплошь испещрен кратерами так, что и Каллисто могла бы позавидовать. Почему только один? И этот вопрос пока еще остается нерешенным. Правда, есть у этой местности и свое отличие от соседнего спутника. Когда группа сотрудников Управления геологической съемки США, возглавляемая Г. Мазурским, обработала фотографии, то установила, что возраст соседствующих пород здесь странно разнообразен и совсем не напоминает желанную первичную и не затронутую временем поверхность. Некоторые испещренные кратерами участки, как кажется, перекрывают собою многократно окольцованные древние бассейны,

возникшие некогда под влиянием могучих сил. Один довольно гладко выровненный бассейн напомнил ученым Меркурий или марсианские нагорья. Словом, Ганимед оказался куда сложнее, чем это можно было предполагать по сообщениям первого «Вояджера».

Европа по своей топографии оказалась менее разнообразной. Но и она подбросила ученым загадок. Кратеров здесь немного, зато изумление вызывает сложный клубок прямых и изогнутых линий, выглядящих темными на светлом теле спутника. Светлый фон — это, очевидно, лед. А вот темные, тянущиеся на сотни и тысячи километров «штрихи»? Прямо-таки излюбленные фантастами марсианские каналы.

На Ганимеди тоже есть борозды, но здесь, на Европе, большинство темных полос, действительно, так мелки, неглубоки, что один из тех, кто участвовал в анализе изображений, сравнил их со штрихами, нанесенными фломастером. Даже ярые сторонники дрейфа континентов здесь соглашались: очевидно, в отличие от ганимедовских, они возникали не в результате давлений, существующих в коре, плиты которой могут, по их мнению, двигаться одна относительно другой. Взамен выдвинуто предположение: первоначально здесь были простые расщелины, которые постепенно под влиянием эрозии все расширялись и расширялись, пока их ширина не достигла своих нынешних масштабов — кое-где десятков километров. В то же время расщелины засыпались обломками.

Таким образом, Европа оказалась на удивление «гладкой». На ее фотографиях, как ни странно, терминатор — линия, отделяющая дневную, освещенную Солнцем, сторону от темной ночной, — идет очень прямо. А будь Европа гористой, терминатор, разумеется, был бы зазубренным: вершины и ущелья должны быть тогда различимыми. Ландшафт Европы выглядит настолько непересеченным, что один исследователь даже назвал ее бильiardным шаром, запущенным в космос.

Впрочем, другой ученый, на которого произвела впечатление сеть трещин, сравнил Европу с ...«кокну-тым» яйцом. Еще при инфракрасной съемке с Земли установили, что поверхность этого спутника в основном водная. «Вояджер-2» внес уточнение: ледяная. Если предположить, что ядро Европы каменное (как, например, у Ио), то слой поверхностного льда может

достигать в толщину 100 км. Не исключено, что этот слой не сплошной. Иные трещины в ледяном покрове достигают в длину одной трети окружности Европы; лежащая под коркой ледяная каша может постоянно выдавливаться наверх, обновляя поверхность.

Но откуда же взялись первичные трещины? Вся местность расчерчена их штрихами всех размеров так, что напоминает паковые льды на замерзшей поверхности моря. И кое-кто из специалистов усматривает в этом не внешнюю аналогию, а сходство по существу.

Ледовитый океан в космосе? Ну, не совсем: во всяком случае, без жидкой воды. Может быть, кора Европы и вправду покрыта льдом, а из глубин там, где в каменистой оболочке проходят трещины, на поверхность проникает тепло недр. Приливные силы при движении Европы по орбите, в борьбе с притяжением могучих соседей, должны ведь приводить к выделению тепла — вот лед и растрескивается.

Фотографии «Вояджера-2» позволили установить, что хотя топография этого спутника действительно «плоская», все же и там есть свои черты пересеченности. Может быть, в различных местностях свои источники тепла (не то также приливного происхождения, не то — радиоактивные распадающиеся элементы) создают впадины и выпуклости в ледяном покрове. Кое-где в нем остаются крупные ямы и провалы, которые, казалось бы, должны были затянуться льдом, но почему-то это не произошло, словно что-то попридержало его поток от попыток залить собой углубление.

Наконец (как будто мало загадок уже загадано!) есть на Европе и некие «антиподы» тем «фломастерным» плоским темным штрихам. Это, наоборот, светлые выпуклые линии, которые, очевидно, приподняты над окружающей местностью на десяток-другой метров. По одной из гипотез здесь, вероятно, расположен относительно чистый, незагрязненный каменными обломками лед. Его плотность поменьше, поэтому он и вздымается несколько выше над окрестными равнинами.

И еще одно «европейское» чудо. Научный консультант НАСА Р. Хогленд высказал предположение, что на этом спутнике может существовать... жизнь. Раз, судя по снимкам «Вояджера-2», под сплошным тол-

стым ледовым покровом не исключен океан, то вспомним, что он, как любят говорить палеобиологи, — «непременное условие возникновения жизни в известных для нас формах». А раз условия есть, то очень вероятно и их использование — в природе так случается: что возможно, то и сбывается. Океан породил жизнь на Земле, мог он стать ее колыбелью и на Европе!

Впрочем, почему только на Европе? В самом деле, если правы американские астрономы Дж. Льюис и Г. Консолманьо, предполагающие, что водяная оболочка у галилеевых спутников существует уже не менее трех миллиардов лет, то этого времени вполне достаточно для развития органической жизни, как это случилось у нас на Земле.

Ледяной щит может прикрывать нежные живые клетки от губительного воздействия космических лучей и жесткой радиации. Температура и давление в таких подледных океанах с их глубинами, достигающими тысячи (!) километров, конечно, создают не райские условия. Однако подсчитаем, и окажется, что в верхних слоях воды давление близко к 1000 атм, что не так уж отличается от давления в Марианской впадине в Тихом океане, где жизнь, как установлено недавно, существует. А температура, начиная с подошвы ледяной мантии с глубиной растет от нуля до примерно +80 °С, проходя через зону с вполне комфортными по земным меркам условиями.

Советские исследователи Л. О. Колоколова и А. Ф. Стеклов (Главная астрономическая обсерватория АН УССР) так и считают, что «...внутри Европы, Ганимеда и Каллисто... вовсе неплохие условия для появления жизни». Исходные химические соединения, по их мнению, могли образоваться в протопланетной туманности, а химическим реакциям, приводящим к синтезу органических соединений, помогала тектоническая активность и распад радиоактивных элементов, которые, несомненно, есть на спутниках.

Пока что все это — чисто умозрительные выводы, но кто знает...

Читатель, несомненно, заметил, как много предположений рассеяно на предыдущих страницах. Конечно, это следствие новых вопросов, неизбежно возникающих перед человечеством, стоит ему копнуть чуть глубже там, где оно, в своей гордыне, считало все уже

открытым. Таков уж неизбежный путь познания бездонной истины.

...Бывают же в науке «бумеранги»! Открыли что-то, потом «закрыли», отбросили гипотезу, а она, упрямая, возвращается, подкрепленная новым экспериментом, по-другому поставленным наблюдением, свежим взглядом другого специалиста, вооруженного иной техникой.

Счетчики метеоритов, установленные на борту «Пионера-10», сообщили: «Юпитер имеет кольцо, подобное сатурнову, только из более мелких тел». В ученом мире поднялось возбуждение. Научные сотрудники Университета штата Вирджиния в Шарлоттсвиле Ф. Сингер и Дж. Стенли провели тщательнейшие вычисления. Их вывод был: тревога ложная. Частицы, зарегистрированные при подлете «Пионера-10» к Юпитеру, очевидно, не его спутники — они вращаются хотя и вблизи, но не вокруг этой планеты, а вокруг Солнца.

Ученые пришли тогда к выводу, что концентрация этих частиц вблизи орбиты Юпитера и их спектральная характеристика приблизительно те же, что и у космической пыли, встречающейся в окрестностях Земли.

Итак, кажется, ясно, что великий Юпитер лишен прекрасного кольцеобразного украшения, подобного тому, которым может гордиться его сосед Сатурн? И все-таки, оказалось, что и в этом «владыка Олимпа» никому не уступает.

Обнаружилось это так. «Вояджер-1» пролетал внутри орбиты Амальтеи, когда его камеры приступили к съемке темной области вблизи планеты, чтобы поискать еще неоткрытые спутники. Однако вместо них на трех фотографиях была хорошо различима загадочная полоса. Группа сотрудников Аризонского университета, возглавляемая Б. Смитом, установила: да, это, несомненно, скопление мелких частиц, роем окружающих Юпитер в плоскости его экватора. На сделанной с ребра фотографии кольцо оказалось очень сплюснутым — его толщина составляет около 30 км. Ширина же кольца уже более подстать гигантской планете: она составляет примерно 8700 км. Внешний край его удален от поверхности Юпитера очень далеко — на 57 000 км, а внутренний, очевидно, подходит к ней сравнительно близко, но как именно, пока еще судить

было трудно *). Этот «хоровод» делает полный оборот вокруг планеты за 7 часов.

Но из чего же кольцо состоит? Скорее всего, из обломков скальных пород и льда. Видимо, частицы, составляющие украшение величайшей из планет, хотя и очень многочисленны, но совсем невелики. Некоторые специалисты считают, что поперечники частиц не превышают десятков-сотен метров.

Однако многие теоретики несогласны. Если кольцо состоит из подобной «мелочи», то оно должно быть нестойким. А каковы же динамические предпосылки, позволяющие такому эфемерному образованию существовать длительное время? Ведь не возникло же оно специально, к моменту прибытия «Вояджера-1».

Пришлось ученым снова «поднять» комплект данных, собранных в 1973 и 1974 гг. «Пионерами-10 и 11». Была обнаружена информация о зафиксированных тогда микрометеорах. Не прячется ли в ней ответ на загадку колец?... Так или иначе, но от самого факта не уйти: украшение, казавшееся когда-то привилегией одного Сатурна, а потом еще и Урана (о чем будет рассказано в соответствующей главе), имеется и у Юпитера.

Как это нередко бывает, дополнительные доказательства открытия, как будто ожидавшие удобного случая, тут же посыпались с разных сторон. Наземные наблюдения, казавшиеся раньше в этом случае бесполезными, все же осилили огромное пространство: кольцо Юпитера по его излучению в инфракрасной части спектра на частоте 2,2 микрометра обнаружили астрономы Э. Э. Беклин и С. Дж. Уинн-Уильямс из Гавайской обсерватории. Они установили, что светимость кольца Юпитера примерно на 11 звездных величин уступает светимости кольца Сатурна, наблюдавшегося в этой же части спектра, так что заметить юпитерово украшение с Земли — задача нелегкая... Но возможная.

Казалось бы, неожиданная сенсация? Да не совсем. Во всяком случае, для того ученого, который внимательно следит за работами коллег во всем мире, это открытие, пусть сенсационное, полной неожиданностью быть не должно.

*) За поверхность этой газообразной планеты принимают верхнюю границу ее облачного покрова,

Дело вот в чем. Еще в 1960 г. в «Известиях АН Армянской ССР» была опубликована статья известного советского специалиста по кометам, профессора Киевского университета С. К. Всехсвятского. В ней он писал: «Существование активных процессов — выбросов в системе Юпитера... дает все основания предполагать, что вокруг Юпитера также движутся кометно-метеоритные массы в виде кольца, аналогичного кольцу Сатурна».

И затем С. К. Всехсвятский приводит четкие свидетельства, спрятанные, по его мнению, в результатах самых обычных наблюдений — наземных, а не выполненных с борта космического аппарата. Наблюдение комет — вот что подсказало нашему ученому утверждение, казавшееся тогда, на заре космической эры, еретическим. Ведь плотность кольца и его толщина настолько малы, что и сегодня в наземные телескопы разглядеть его почти невозможно. Поэтому можно понять астрономов у нас и за рубежом, которые отказались тогда поддерживать столь смелую гипотезу.

Однако научного упорства С. К. Всехсвятскому не занимать. Он аргументированно повторял свое мнение снова и снова в сборниках «Проблемы современной космогонии», вышедших в 1969 и 1972 гг., причем это издание было переведено на французский и немецкий языки. Но ученый мир был по-прежнему несогласен.

В 1976 г. космофизики М. Акунья и Н. Несс из Годдардовского центра космических полетов НАСА (Гринбелт, штат Мэриленд) анализировали информацию, полученную от «Пионера-11», и заметили какие-то странные отклонения в межпланетном магнитном поле в окрестностях Юпитера.

Так как отклонения были зафиксированы, когда «Пионер-11» проходил всего в 43 000 км над верхушками юпитерианских облаков, то есть совсем близко к планете, где «возмутителей магнитного спокойствия», казалось бы, не существовало, это требовало особого объяснения. Акунья и Несс предложили на выбор несколько и среди них такое: примерно в 59 000 км от Юпитера проходит еще не обнаруженное разреженное кольцо, которое и влияет на магнитное поле планеты. Между прочим, и малая плотность потом подтвердилась, и расстояние оказалось названным довольно точно. Но в то время ученый мир проявил

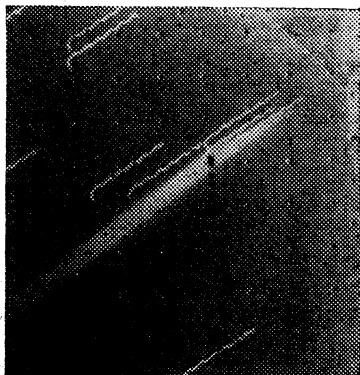
скептицизм. Так всё и «замерзло», пока об этом же во весь голос не заявили снимки, присланные «Вояджером-1».

Если считать двухмиллионнокилометровое расстояние окрестностями Юпитера, то «Вояджер-1» провел в них около двух с половиной суток. Продвигаясь со скоростью от 15 до 35 км в секунду, он сделал здесь около 15 тысяч фотоснимков самой планеты и членов ее «семьи».

По признанию одного из тех ста специалистов, что собрались в калифорнийском городке Пасадене, чтобы рассмотреть первые результаты обработки данных, они были бы больше всего удивлены, если бы в этих данных не было ничего удивительного, и он был прав.

На экране вспыхивает слайд. Так... Изображение скопления Ясли... Выдержка — 11 минут... «Вояджер» в это время как раз пересекал плоскость юпитерова экватора. Фотография уже прошла обработку на компьютере, теперь ее «растягивают», чтобы сделать различимыми более мелкие детали... А это что? Слабый светящийся след... Вот здесь, непосредственно над

Рис. 12. «Вояджеру-1» удалось сделать первый в истории снимок кольца Юпитера, шесть раз экспонировав в течение 11 мин один и тот же кадр. В результате изображение тускло светящегося кольца было зафиксировано как широкая светлая полоса, наискось пересекающая центр снимка. Зигзагообразные линии оставлены находящимися на заднем плане звездами вследствие движения космического аппарата. В момент съемки внешний край кольца был в 1 млн. 212 тыс. км от «Вояджера».



центром снимка и правее него... Кольцо?.. Так было подтверждено, на этот раз без всяких сомнений, наличие у Юпитера кольца (рис. 12).

Открытию помогло то, что космический аппарат в полете покачивался, и это позволило избавиться от

фальшивых бликов, «фотопризраков», неизбежных при такой съемке. Кроме того, удача была и запланирована: аризонские астрономы за несколько лет до того ввели в программу фотографирование этих окрестностей Юпитера — не ради кольца, о котором, несмотря на предсказания «пророков», не помышляли, а просто для полноты картины... Кстати, не так уж ясно, что именно считать моментом открытия — компетентное, мотивированное «предсказание» или же факт наблюдения, подтверждающий его...

Что ж, в астрономии открытия «на кончике пера» уже случались. Но ведь даже Леверье, предсказавший существование планеты Нептун по «неправильностям» в движении Урана, опирался на общепризнанную уже тогда ньютонову небесную механику. А Всехсвятский разработал ту часть гипотезы о выбросах материи с поверхности небесных тел, которая и привела его к мысли, что эта материя может образовывать еще не открытые кольца вокруг планет.

Нам неизвестно, знали ли аризонские ученые о работах киевского коллеги, но, в любом случае, заслуги обоих очевидны. Без «войджеровских» наблюдений тоже невозможно было бы судить о протяженности и мощности кольца, о величине входящих в него частиц.

«Вояджер-2» сумел сфотографировать кольцо не с ребра, как его предшественник, а «сверху» и «снизу». Судя по этим снимкам, внешняя кромка кольца Юпитера находится примерно в 55 000 км от границы его облаков. Плотность частиц, образующих кольцо, убывает постепенно, так что в малых концентрациях они встречаются вплоть до самой поверхности планеты. То, что частицы очень мелкие, «Вояджер-2» подтвердил. Но загадка существования кольца осталась: чем меньше частицы, тем труднее им удержаться на орбите, не оседая на планету. Откуда же берется пополнение?..

Сенсация: вулканы извергаются на спутнике

В предыдущем разделе осталась одна недомолвка: что же это за «выбросы», о которых писал С. К. Всехсвятский. Вообще-то еще крупнейший французский математик, механик, астроном Жозеф Луи Лагранж

(1736—1813), девятнадцать лет ставший профессором, а в 23 года академиком, предложил гипотезу, согласно которой кометы могут рождаться в результате выброса — взрыва или извержения на той или иной планете. Но какой это взрыв и возможен ли действующий вулкан где-либо вне Земли, — об этом во времена Лагранжа говорить было рановато.

Советский же астроном, развивая теорию великого француза, уже в 30-е годы нашего века писал о необычайно сильной вулканической деятельности, происходящей на поверхностях Юпитера, Сатурна, Урана и их спутников. Снова это был глас вопиющего в пустыне...

Правда, помимо утверждений Лагранжа и Всехсвятского, теоретически предполагавших такую возможность, к нашему времени уже были какие-то более конкретные свидетельства, говорившие о подобных событиях. Наиболее весомыми были наблюдения известного пулковского астронома Н. А. Козырева. В 1958 г. ему удалось сделать спектрограммы Луны, на которых он обнаружил, что из центральной горки кратера Альфонс выходят газы и там происходит «не что вулканическое».

Такое утверждение вызвало немалые споры. Еще бы! Небесное тело, совсем недавно считавшееся совершенно мертвым, где всякая глубинная активность давно должна бы затихнуть, неожиданно «задышало». Впрочем, скептиков Н. А. Козырев до конца не убедил — активность на Луне была слабенькой, ее не всякому удалось наблюдать с таким успехом, как нашему астроному. Как мы теперь знаем, если не извержения вулканов, то лунотрясения бывают.

В 1974 г. В. В. Прокофьева, работая в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, заметила, что Ио временами становится ярче, чем обычно. Причины этого были загадочными. Чуть позже азербайджанские ученые А. А. Атаи и Н. Б. Ибрагимов (Шемахинская обсерватория) нашли на спектрограмме Ио линии, характерные для излучения натрия, магния, железа и кальция. Откуда они? Не из недр ли выносятся вместе со струями вулканических газов и паров?.. Но и такой вывод был бы в то время еще недоказуемым.

...Линда Морабито работает в НАСА, но вовсе не в том коллективе ученых, который анализирует научные данные, поступающие с «Вояджеров». Ее специальность — оптическая навигация, то есть определение точных координат межпланетного аппарата относительно известных неподвижных звезд, положение которых зафиксировано астрометристами.

В начале марта 1979 г. Морабито рассматривала на снимке, поступившем с борта «Вояджера-1», лимб Ио, то есть видимый край ее диска на фоне темного неба. Фотография была сознательно передержана, чтобы лимб стал на ней более четким и различимым. Теперь надо построить аккуратную математическую кривую, описывающую лимб; это позволит с нужной точностью определить точку, где находится центр Ио.

Но что это? Нечто странное, грибообразное выступает далеко за пределы лимба. Это не горы: высота выступа — чуть ли не триста километров над поверхностью спутника (рис. 13).

Срочно собранный «консилиум» из специалистов по обработке снимков и опытейших астрономов-планетологов пришел к заключению: «перед нами столб дыма, газов и других продуктов, выброшенных вулканическим извержением!»

И это вовсе не было осторожно именуемое специалистами «явление, имеющее признаки, сходные с извержением». Нет, это было как специально приуроченное природой к прилету посланца Земли мощное, яростное и несомненное извержение могучего вулкана на поверхности небесного тела.

Обработав присланные «Вояджером-1» новые снимки, ученые обнаружили на них еще по крайней мере три столба вулканического дыма и пепла, — это с несомненностью. А еще четыре — с различной степенью уверенности.

Измеренная их высота говорила: скорость выброса вулканических частиц из жерл огнедышащих гор на Ио достигает 1000 м/с. У нас на Земле при самых крупных извержениях, например, Этны, эта скорость не превышает и 51 м/с. Значит, Ио не просто «тело, еще сохранившее некоторые следы активности недр», как можно сказать о Луне, а полный жизни и глубинного пламени небесный объект. На сегодняшний день

в нашей Солнечной системе, насколько мы знаем, ни одно небесное тело большей активностью не обладает.

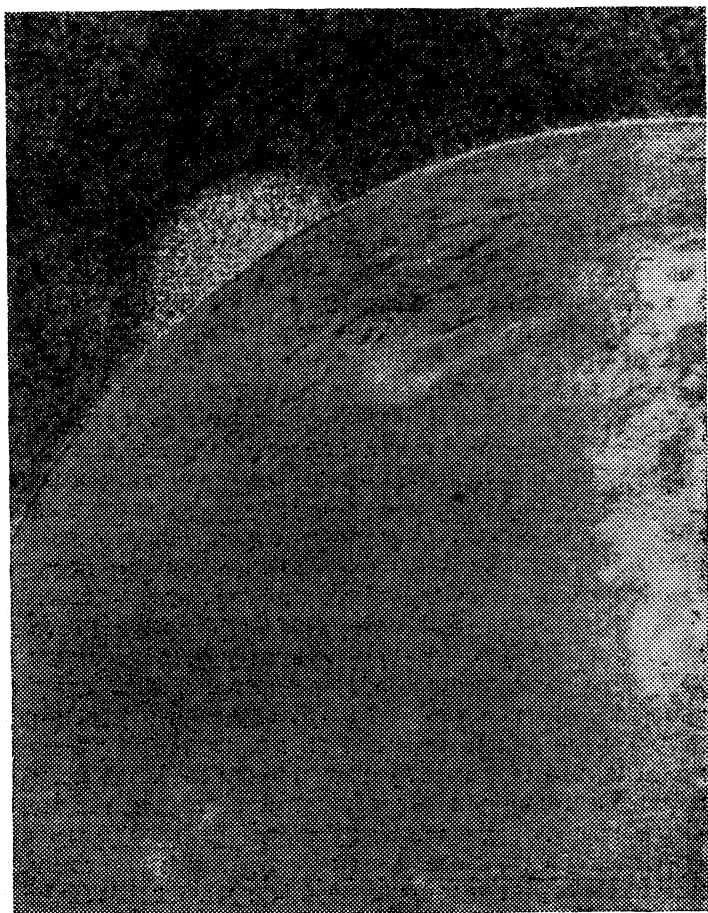


Рис. 13. Сенсационный снимок «Вояджера-1»: извержение вулкана в космосе. Над краем диска Ио хорошо заметен столб вулканического пламени, пыли и газов, вырывающихся на высоту более двухсот километров над поверхностью спутника.

Космическая скорость на Ио, то есть та скорость, по достижении которой любой предмет не падает, а уходит с поверхности небесного тела в мировое

пространство, составляет около 2,5 км/с. Значит, выброшенным из ее вулканов обломкам породы не хватает не столь уж много, чтобы превратиться в спутники этого спутника. Ведь не исключено, что зафиксированные «Вояджером-1» извержения вовсе не самые мощные, которые там случаются.

Вулканов на Ио пока открыто лишь семь или, может быть, восемь. Но и такое небольшое их количество продемонстрировало нам почти все виды поведения огнедышащих гор, встречающегося и у нас на Земле. Тут есть и взрывные вулканы, сходные с нашими гейзерами, и изливающиеся, выпускающие из себя не вязкую, а жидкую лаву, как это бывает на Гавайских островах, и газовые выбросы, встречающиеся, например, на Этне. Кроме активных, замечены и дремавшие в момент визита «Вояджера-1» вулканы; ученые насчитали на снимках больше сотни кратеров с диаметром около 25 км самых разных очертаний. Так вулканология, до сих пор бывшая наукой сугубо земной, в один прекрасный день вышла на просторы Вселенной, породив новую отрасль — «космовулканологию», объектом изучения которой отныне станут различные проявления глубинной активности недр на небесных телах, вне нашей родной планеты.

Еще до того, как историческое открытие состоялось, ученые, установив, что кратеров, образованных падением метеоритов, на Ио, очевидно, нет, сделали такой вывод: поверхность этого спутника очень молода, ей, надо полагать, менее 10 миллионов лет. Теперь же ясно, что она имеет совсем «младенческий» возраст и даже сегодня уже не та, какой ее засняли камеры «Вояджера».

Возникла гипотеза: а не образуется ли та «дымка», которой постоянно окружена Ио, хотя бы частично в результате выделения из ее недр вулканических газов и частиц? Да и та незамкнутая «баранка» из различных элементов, главным образом серы, которая «маркирует» путь Ио вокруг Юпитера (мы о ней говорили в предыдущем разделе), — не порождена ли и она вулканической деятельностью? Гипотеза кажется правдоподобной, так как и на Земле вулканы извергают немало двуокиси серы и сернистого водорода. А эти газы могут оставаться в атмосфере и отдельные их

атомы и молекулы могут вырываться из объятий притяжения Ио, образуя вокруг нее и дымку, и «баранку».

И еще одна составляющая красивого убора Ио: ее золотистая натриевая вуаль, отражающая лучи Солнца. Излучение атомов натрия обычно исчезает, когда они подвергнутся ионизации. В условиях Ио поступившему с ее поверхности атому этого элемента суждено прожить в неионизованном состоянии в среднем часов двадцать. Теперь можно предположить, что натрий появляется не в результате бомбардировки и разбрызгивания его с поверхности Ио заряженными частицами из магнитного поля Юпитера, как считали ранее, а просто из жерл вулканов.

Но ведь тогда, стоит извержениям на Ио прерваться хотя бы на 20 часов, все атомы натрия ионизуются, и натриевой вуали мы уже не увидим. Однако ничего подобного не происходит. Вывод, который делает научный сотрудник Лаборатории реактивного движения (США) Т. Джонсон, таков: «извержения вулканов на Ио можно считать практически непрерывными».

Необычные происшествия, связанные с Ио, перечислены еще не все. Ровно за неделю до того, как Л. Морабито склонилась над ставшей исторической фотографией — изображением грибообразного столба, вышел номер солидного журнала «Сайенс», а в нем — статья С. Дж. Пила из Калифорнийского университета и сотрудников Эймсовского исследовательского центра НАСА П. П. Кассена и Р. Т. Рейнолдса. Статья содержит прямое утверждение: «Ио может являться наиболее нагретым телом земного типа во всей Солнечной системе».

Откуда такое пророческое предположение? — Дело в том, что Ио обращена к Юпитеру постоянно одной и той же стороной. На ее полушарии, обращенном к планете, образовался постоянный горб высотой около 5 км. Кроме того, на Ио своим тяготением воздействуют массивные Европа и Ганимед, которые превращают ее орбиту в слегка вытянутую. Юпитер, в зависимости от расстояния Ио, то вытягивает этот горб, то отпускает, и амплитуда таких «вздохов» достигает 100 м. Одно это «дыхание» освобождает в несколько раз больше энергии, чем выделяют ее все радиоактивные элементы в недрах Луны.

Но если даже центральная область Луны находится в полурасплавленном виде, то, вероятно, глубины Ио,— тем более. Лишь ее наружный слой толщиной 18 км, согласно подсчетам, может оставаться твердым. А такую кору вулканам прорвать вовсе нетрудно.

Таково было мнение сторонников раскаленной Ио, высказанное еще до фактического открытия там вулканов. Бесспорной их гипотеза, правда, не была. Видимо, ничто не бесспорно и ничто легко не дается, когда речь идет об этом прямо-таки заколдованном небесном теле. Вскоре возник важный вопрос: где же должен больше сказываться такой разогрев: на полюсах или у экватора? Новые снимки показали: чуть ли не все огнедышащие горы Ио расположены в низких широтах, не далее 30° от экватора, а у полюсов ее сосредоточены обычные горы. И как это кора в состоянии поддерживать на поверхности такие значительные массы?

Вопрос повис в воздухе (может быть, вернее сказать,— в космосе) до прибытия в эти края «Вояджера-2», которому срочно включили дополнительное задание: разглядеть спорные районы повнимательнее, дать снимки и спектрограммы...

Большой интерес вызвал вопрос, что же «выплывают» вулканы Ио? Приборы «Вояджера-1» уверенно называли только двуокись серы. Подозрительно, например, полное отсутствие воды, ведь у нас на Земле вулканы извергают ее столько, что, по некоторым гипотезам, чуть ли не все моря и океаны обязаны им своим существованием. Может быть, Ио так долго и усердно извергала влагу из своих недр, что ее запасы просто исчерпались?

Вырвавшиеся из кратера газы могут остывать и хотя бы частично конденсироваться и выпадать обратно на поверхность Ио. Снимки в ультрафиолетовых лучах показывают, что там, действительно, лежат какие-то мелкозернистые (возможно, с диаметром менее микрометра) твердые частицы. А ярко-голубые пятна, кое-где заметные на цветных фотографиях, некоторые специалисты относят за счет «синего снега». И это среди в общем-то красно-оранжевого ландшафта. Поистине, на свете чудеса рассеяны повсюду!

На снимках поверхности Ио в инфракрасных лучах тоже замечены какие-то необычные образования,

Для их объяснения ученые вынуждены прибегать к довольно экзотическим предположениям. Так, Д. Б. Нэш и Р. М. Нелсон (Лаборатория реактивного движения) считают, что там находятся скопления сублимированных солей, таких, как, например, сернистый натрий, сернистый калий или гидросульфид натрия, плюс определенное количество газов (вероятно, вулканических) — двуокиси серы и сернистого водорода, которые адсорбируются на поверхности солей. Затем вся эта адская кухня подвергается бомбардировке протонами, захваченными магнитным полем Юпитера. Это все довольно правдоподобно — за неимением лучшего объяснения и с учетом того, что, как правило, природа предпочитает избегать сложностей.

Но и на этом чудеса еще не кончаются. Как мы уже говорили, существует предположение, что извержения на Ио не прекращаются. Однако главный из открытых «Вояджером-1» вулканов вдруг угас. Правда, до этого он успел засеять все свои окрестности вулканическими обломками, которые первоначально лежали вокруг него, образуя холм, напоминающий очертаниями сердце, а затем его очертания превратились в аккуратный овал.

Предложены механизмы, благодаря которым происходят все эти бурные пертурбации. Более простая гипотеза такова. Жидкая силикатная порода (расплавленная, может быть, в результате приливного трения, о котором сказано выше) подобно нашей земной магме поднимается из недр сквозь твердые силикаты, приправленные там и сям серой (от этого «адского» элемента на Ио никуда не денешься!)

Другие специалисты предлагают такую альтернативу. По их мнению, глубинные твердые силикаты содержат в себе отдельные вкрапления расплавленной серы, которая постепенно выделяется наверх, образуя под верхней коркой, состоящей из плотной же серы, настоящий «серный океан». Ведь, в отличие от воды, сера в жидком состоянии легче, чем в твердом, и любая трещина в корке позволяет ей подняться и излиться на поверхность. Она обладает даже «правом выбора»: истечение может быть мирным и постепенным или же, благодаря внезапному испарению двуокиси серы, сопровождаться взрывом.

Не исключено, что правы и те, и другие специалисты, и в различных областях Ио процессы идут по-разному. Например, все та же загадка гор, возвышающихся на несколько километров около ее южного полюса: их масса такова, что никакой подповерхностный серный океан, даже с помощью твердой корки, «стоймя» удержать бы их не смог. А уж дальше от полюса, в более низких широтах, где, по-видимому, расположено большинство действующих вулканов, извержения происходят по-разному, так что здесь строение недр может быть иным.

В первых числах июля 1979 г. на Ио направил свои камеры «Вояджер-2» и в течение четырех суток не сводил с нее свой взор. Были получены фотографии, на которых различимы объекты с поперечником в сто и даже, на лучших снимках, — в 20—25 км. Этот посланец людей начал направлять на Землю фотографии Ио время от времени, еще находясь от спутника в 4 760 000 км, а сблизившись с ним до 1 190 000 км, стал вести съемку уже непрерывно и вел ее в течение 6,5 ч. Ближайшая к Ио точка, где побывал «Вояджер-2», находилась от нее в 1 130 000 км.

Из столбов вулканического происхождения, зарегистрированных «Вояджером-1», на этот раз наблюдалось шесть. Крупнейший из тех, что был открыт ранее, — его высота достигала 280 км над поверхностью Ио, — теперь, как мы уже сказали, загадочно исчез. Изображение еще одного было недостаточно отчетливым, чтобы судить о том, как ведет себя этот вулкан. Дымовой же столб одного из них возрос от ста до полутораста километров над поверхностью спутника.

Уже появились примерные подсчеты количества материи, выбрасываемой Ио в космос. Так, выкладки Дж. Л. Сиско из Калифорнийского университета показывают, что в каждую секунду со спутника в окружающее его пространство поступает около трех тонн различных веществ. Если это верно, то за время жизни Ио она должна была «похудеть» на 0,5% своей первоначальной массы.

Новых действующих вулканов «Вояджер-2» на Ио не нашел. Но когда снимки, сделанные им, проанализировали, то на них обнаружили довольно крупномасштабные изменения окраски поверхности Ио. Даже на тех фотографиях, где разрешение было не лучшим

(Если здесь составляло примерно 40—50 км, то есть позволяло бы прекрасно различить, скажем, Москву, будь она столицей Ио), уже были заметны новые морфологические черты поверхности. Некоторые из этих «новинок» находились рядом с действующими вулканами.

Характерной чертой поверхности Ио оказались эскарпы — крутые перепады высот, мощные уступы, возвышающиеся над остальной местностью на сотни метров и протянувшиеся иной раз на многие сотни километров. Среди них есть и циркообразные и полукруглые, имеющие форму дуги и вытянутые, как палец, и простирающиеся довольно строго по прямой. Цирки и полукруги окольцовывают собой вулканы, изогнутые дуги, и «пальцы» как бы вытекают из кратеров, а прямые эскарпы расположены повсеместно и выглядят похожими на разломы земной коры. До сих пор подобные эскарпы удавалось, кроме Земли, наблюдать еще только на Марсе.

Но каково их происхождение? На Марсе, согласно сложившимся недавно представлениям, подобная пересеченность местности вызывается тем, что под поверхностью планеты там часто залегают лед и вода. В теплое время года лед подтаивает, начинает двигаться, и поверхностные слои «проседают» сразу на большой площади. Но на Ио, очевидно, ни льда, ни воды в недрах нет. Эрозия почв, которая на Земле, бывает, творит подлинные чудеса, требует столь плотной атмосферы с ее ветрами, такого изобилия метеорологических явлений (то дождь, то снег, то жаркое солнце), которых на Ио предположить нельзя.

Бомбардировка заряженными частицами, поступающими из радиационного поля Юпитера, несомненно, идет очень интенсивно. Но даже самые оптимистические подсчеты показывают, что этим частицам нужно ни много, ни мало — 400 миллионов лет, чтобы «разбрызгать» и переместить всего стометровый слой почвы. А здесь перепады высот во многие сотни метров, да и явно куда более молодые.

Зато, как в Дантовом аде, на Ио — изобилие серы, и она играет здесь множество разных ролей. Б. Смит подсчитал, что, начиная от поверхности и до глубины не более 1 км, сера и ее двуокись на Ио в основном находятся в состоянии твердого тела. Под этим

слоем по мере роста глубины с двуокисью происходит фазовое превращение и она становится жидкостью, а свободная сера остается по-прежнему твердой. Затем, на глубине около 2 км, вероятно, вплоть до 4 км, сера уже тоже представляет собой жидкость.

Вот эта-то структура и может объяснить существование эскарпов. Край, обрыв эскарпа, представляет собой, следовательно, то место, где находящимся под давлением летучим веществам и жидкостям легче всего вырваться на свободу. Попробуем представить себе артезианский колодец, в котором вместо воды — сера и ее двуокись. Найдя подходящую трещину или расселину, они, конечно, не преминут выбраться на белый свет, так что потоки серы и ее производных из недр здесь вполне в состоянии порождать уступы и ступени, простирающиеся на многие сотни километров.

Но каковы они сами, эти потоки, что они представляют собой, однажды вырвавшись из глубины? Освободившись от давления верхних слоев коры, смесь серы и газов бурно вскипает и пузырится. «Шампанское сатаны» на глазах резко расширяется: каждая единица жидкости образует пары, в 5000 раз превышающие ее собственный объем. Как мы уже говорили, в отличие от воды, сера в жидком состоянии легче, чем в твердом (серная «льдина» немедленно ныряет под поверхность расплава, а не плавает сверху). Если газы и кристаллизующаяся в это время жидкость продолжают соприкасаться друг с другом, то смесь твердых и жидких веществ будет расширяться, пока, достигнув поверхности, не сравняется давлением с окружающей средой.

А давление атмосферы на Ио, как мы знаем, очень низкое (около 10^{-2} Па), так что есть чему выбить пробку из этой космической бутылки — скорость выделения газов должна достигать 350 м/с.

Роль пробки здесь может играть (не забудем о царящем на поверхности Ио морозе) снег, естественно, не «аш-два-о» (H_2O), а «эс-два-о» (S_2O) — без серы, разумеется, в этом мире ни шагу нельзя ступить. Так вот, глубинный серный фонтан может выбросить из расселины заграждающий ему путь слой снега на расстояние примерно в 70 км. Ну, а уж ближайшие

к ней десятки километров должны быть просто засыпаны этим странным на наш взгляд «снегом» (рис. 14).

И все это не просто умозрительные предположения — нет, на «вояджеровских» снимках отчетливо различимы и эскарпы, и сопутствующие им яркие и темные потоки всех описанных выше форм и очертаний, и области, засыпанные слоями «сернистокислого» снега.

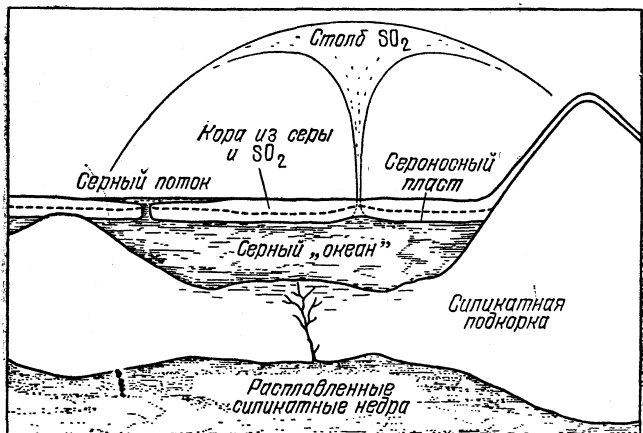


Рис. 14. Возможная модель строения верхних слоев Ио. Поверхность образована смесью твердой SO_2 и серы. Под ней лежит сероносный пласт, аналогичный земному водоносному. Он состоит из пористой твердой серы, сквозь которую свободно проникает жидкая SO_2 . Еще ниже — «океан» серного расплава, дном которого служит твердая силикатная подкорка, перекрывающая собой равномерно расплавленные силикатные недра. В тех местах, где верхняя кора обладает меньшей плавучестью, расплавленная сера выходит на поверхность и растекается по ней. Жидкая SO_2 вырывается на дневную поверхность через трещины или жерла вулканов и образует вулканический столб. Глубины и мощности слоев на схеме представлены безмасштабно. (По Б. А. Смити и др.)

Конечно, столь могучие гейзеры нелегко вообразить себе даже тому, кто побывал на Камчатке или в американском Йеллоустонском парке, славящихся своими природными фонтанами; к тому же эти фонтаны — серные...

Впрочем, излияния серы на поверхность известны и на Земле. Например, в 1936 г. вулкан Сиретоко в Японии испустил из расщелины, вскрывшейся на его

склоне, реку шоколадно-коричневой серы (коричневой ее делает небольшая примесь органических веществ). Образовавшийся поток имел 20—25 м в ширину, глубина его составляла местами 5 м, а протяженность достигла 1,4 км. Серная река спустилась вниз по долине, где уже были отложения серы, возникшие при одном из извержений в древности, так что слой серы вырос до нескольких десятков метров в толщину.

А лет тридцать пять спустя серный поток мощностью примерно в полметра и шириной до 10 м излился из бокового кратера вулкана Мауна-Лоа, что на Гавайях. Но все это просто речушки — нет, жалкие ручейки по сравнению с тем, что открылось на Ио: ведь несколько серных потоков здесь превышают 300 км в длину.

Серные реки, серные озера и даже небольшие серные моря, серный подпочвенный слой, а может статься — и подземный серный океан, не говоря уже о сернистой атмосфере... Немудрено, что этот любимый элемент подземного кузнеца — бога Вулкана «решает», в какой цвет окрасить ту или иную область на Ио. Дело еще и в том, что есть различные разновидности серы, отличающиеся цветом, да и при перемене температуры этот элемент ведет себя как хамелеон. Так и получается, что рядом со щедрыми красными, оранжевыми, желтыми участками, здесь в беспорядке разбросаны белые, темно-коричневые и даже черные мазки.

Вот, например, район около 15° ю. ш. и 325° з. д., который протянулся на 900 км. На снимке различимы трехсоткилометровые извилистые и переплетающиеся «каналы» кроваво-красного цвета, но далее, вниз по их течению, все чаще встречаются угольно-черные пятна. Один такой поток вблизи кратера, из которого он, видимо, истек, окрашен в красный цвет, но по мере удаления от источника все более «выцветает», становясь желтым. Вообще же темные потоки обычно короче и их очертания более размыты, красные — четче и длиннее, а желтые имеют тенденцию покрывать пеленой значительную площадь.

Все эти особенности исследовал директор Планетной лаборатории Корнеллского университета (Итака, штат Нью-Йорк) К. Э. Саган. Он рассуждал примерно так. Точка плавления различных видов серы лежит

между 110 и 119 °С. Это на целую тысячу градусов ниже точки плавления силикатов, из которых «сделаны» горные породы, и, значит, в подповерхностных слоях Ио сера расплавлена, а силикаты — нет.

Достигнув точки плавления, сера приобретает желтый цвет. Затем при 150° она становится оранжевой, при 180° — красной, а при 250 °С чернеет. Значит, цвет поверхности в той или иной области Ио прямо зависит от температуры в жерле ближайшего вулкана и от скорости, с которой происходит здесь остывание. Цвет, достигнутый при максимальном нагревании, в жидком состоянии, сера имеет способность сохранять, отвердевая, если охлаждалась она быстро.

Вот и получается, что черные пятна в вулканических кратерах и вокруг них — это сера, побывавшая «в объятиях» минимум 250-градусной жары. Такая сера обладает сравнительно большой вязкостью, течет она вяло, медленно и далеко от кратера не убежит.

Зато если жидкость под влиянием теплового излучения и испарения охладится, она становится красной или оранжевой. Ее вязкость резко падает и, стоит подвернуться крутому склону, как она образует бурный поток; его-то мы и видим как пальцеобразные яркие полосы. Такой поток проходит стокилометровые расстояния за неделю-другую. Когда со снижением температуры сера приобретает оранжево-желтый или желтый цвет, ее вязкость уже только в 10 раз выше вязкости воды, и расплав этого вещества может быстро проникнуть чуть ли не куда угодно. Подобным образом образуются гигантские желтые и оранжево-желтые равнины Ио. Так заливаются серным расплавом кратер за кратером, так на глазах вулканическая активность «омолаживает» поверхность загадочной Ио...

Впрочем, неужели все загадки принадлежат одной Ио? Немало их еще у остальных членов «большой пятерки» — Амальтеи, Европы, Ганимеда и Каллисто. Кто знает, сколько вопросительных знаков еще предстоит стереть, изучая Леду, Гималию, Лиситею, Элору, Ананке, Карме, Пасифе, Синопе, а может быть, и других, еще не открытых членов семьи Юпитера...

Лишь приоткрыв занавес над этим загадочным краем, «Вояджеры» устремились в другой, еще более далекий и незнакомый мир — к Сатурну. Последуем же и мы за ними,

В царстве Сатурна

Великое кольцо

Любимый объект художников, иллюстрирующих космическую тему,— Сатурн. Слишком уж соблазнительно выглядят кольца этой далекой планеты. Но хотя Сатурн был известен со времен незапамятных,— ведь его можно наблюдать простым глазом,— блистательное украшение его так просто не разглядеть.

Лишь Галилей в 1610 г. стал первым человеком, заметившим в телескоп у Сатурна некую странность. Вместо ожидавшегося кружка света перед ним предстала какая-то более сложная фигура с двумя выступами. К тому дню Галилей уже открыл Ио, Европу, Ганимед и Каллисто.

— Почему бы и Сатурну не обзавестись двумя спутниками, которые я и вижу по обе его стороны? — спросил себя ученый.— Но если так, то эти два небесных тела должны вести хоровод вокруг Сатурна, поочередно то выходя из укрытия, то прячась за планету от взора земного наблюдателя.

Однако Галилею так и не удалось ни разу быть свидетелем затмения непрозрачным телом Сатурна любого из этих предполагаемых спутников. Боковые «детали» планеты оставались одна справа, а другая слева от нее, как будто намертво приросшие к ее телу.

Великий астроном просто растерялся. Дело усугублялось тем, что многие его коллеги, все еще исповедовавшие устаревшие теории строения Вселенной, принимали на смех результаты его наблюдений при помощи телескопа.— Все это не более, чем оптические иллюзии,— считали они.— Ни гор на Луне, ни, тем более, пятен на Солнце, этом безупречном светильнике

божием, нет и быть не может, и ваши стекла, синьор профессор, вас попросту обманывают.

Ну, как тут можно выступить еще и с таким фактом, который сам не знаешь, чем объяснить! Но и совсем промолчать Галилей не хотел. Поэтому он прибег к методу, нередко, применявшемуся в эпоху Возрождения. Галилей написал Кеплеру письмо, в которое, помимо обычного текста, включил набор букв, выглядевший совершенно бессмысленно. Однако если эти буквы расставить по местам, то получалась фраза, которая на латыни означала: «Я видел удаленнейшую планету трехчастной». (Напоминаем, что тогда лежащие за Сатурном планеты еще были неизвестны.) Тем самым и приоритет первооткрывателя был закреплен, и отсутствие объяснения весьма странному факту пока можно было обойти.

Надо думать, Галилей потом немало радовался своей осторожности. Ведь два года подряд «спутники», казалось, так и не вели хоровод вокруг Сатурна. И, более того, к 1612 г. планета вообще приобрела совершенно обычный вид, никакая «трехчленность» ее уже не отличала! — Не иначе, как я и впрямь ошибался, — решил, очевидно, ученый. — Ведь тогда остается лишь предположить, что Сатурн, согласно мифам древних, просто пожрал своих детей... В конце своей жизни Галилей опять наблюдал «придатки» Сатурна, однако, великому астроному было так и суждено уйти в могилу, не познав причину этого явления.

В 1614 г. немецкий астроном Христоф Шейнер (1575—1650) также навел телескоп на Сатурн. Надо сказать, что человек он был в астрономии неслучайный. Этот влиятельный член ордена иезуитов был одновременно видным математиком, профессором Ингольштадтского университета, оптиком, конструктором телескопов, исследователем солнечных пятен и факелов на светиле.

Шейнер тут же заметил, что с Сатурном творится неладное. Но он увидел в «придатках» не что-то шарообразное, как Галилей, а крошечные полумесяцы, обращенные остриями к планете, нечто вроде двух ручек, пристроенных с боков к чашке, как он писал.

Впрочем, если это «ручки», то, будучи намертво прикрепленными к планете, они должны по временам исчезать из нашего поля зрения, когда одна уходит

«за спину» Сатурна, а другая встает прямо перед ним. Даже когда их видно по бокам, очертания ручек должны для земного наблюдателя изменяться по мере их перемещения по кругу. Или же Сатурн вообще не вращается? Этого никак нельзя было себе представить.

Сорок лет тяготела эта тайна над всем просвещенным миром. Понадобились ум и руки еще одного титана Возрождения — голландца Христиана Гюйгенса (1629—1695), подлинного баловня природы, еще с 22-летнего возраста поражавшего ученых свет, чуть ли не ежегодно обогащавшего математику, механику, физику (ему принадлежит первая волновая теория света), оптику, астрономию незаурядными открытиями.

В 1656 г. он построил телескоп, самый совершенный в его время, и стал наблюдать загадочнейшую из планет. Результатом стал вошедший в историю вывод, который Гюйгенс, подобно Галилею, не так-то легко решился предать гласности.

В краткое сообщение, написанное по другому, хотя тоже астрономическому поводу, Гюйгенс включил строчку букв, составляющих анаграмму. Тот, кто ее расшифровал бы, увидел бы латинскую фразу: «Он [Сатурн] окружен тонким и плоским кольцом, нигде не соприкасающимся с ним и наклоненным к эклиптике».

Трудно было сказать более кратко и одновременно более точно. Перед нами не «придатки», «трехчлен» или «ручки» небесного сосуда, а именно тонкое, отдельно существующее и наклонное кольцо планеты!

Но Гюйгенсу нужно было время, чтобы наблюдениями накопить факты и затем представить больше неопровержимых доказательств и объяснений. Тайнопись дала ему желанную передышку. Отлично воспользовавшись ею, он в 1659 г. опубликовал новый труд, озаглавленный «Systema Saturnium». Здесь он уже во всеуслышание заявил о том, что Сатурн обладает кольцом. В просвещенной Европе это произвело впечатление разорвавшейся бомбы. Противники учения Коперника со всех кафедр осмеивали Гюйгенса. Ему пришлось туго и потому, что предмет спора оказался очень уж капризным. Еще раньше, не успев и составить свою анаграмму, как ее разгадка... полностью исчезла. Гюйгенс попал в то же положение,

в каком перед ним был Галилей. До самого октября 1656 г. Сатурн выглядел плоским диском, лишенным каких-либо украшений. Лишь после этого у его экватора стали вновь возникать светящиеся объекты, как и за полтора года перед тем (рис. 15).

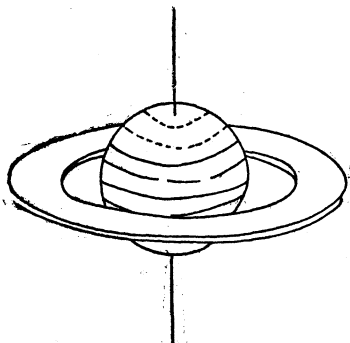


Рис. 15. Рисунок, сделанный рукой Х. Гюйгенса в 1658 г., изображает Сатурн с его кольцом, как это представлял себе великий голландский ученый XVII века.

Zeichnung des Saturni von Huyghenus, 1658,
zur Erklärung seiner wahren Gestalt

Гюйгенс обладал незаурядным математическим умом, и вскоре он нашел всем этим чудесам строгое геометрическое объяснение, которое мы изложим немного ниже.

Теперь же уделим несколько слов изредка встречающемуся на страницах науки случаю, когда ее продвижению предшествуют странные озарения, позволяющие то писателю, то абстрактному философу, то поэту предсказать факт, который открыть еще только предстоит. Мы упоминали уже о том, как Свифт и Вольтер «предрекли» существование Фобоса и Деймоса.

В 1651 г. нюрнбергский городской советник и довольно известный в свое время, а ныне давно забытый, поэт Г. Ф. Харсдёрфер... предсказал существование сатурнова кольца. Он являлся человеком образованным, много читал, немало путешествовал, но в физике, математике, астрономии был чуть ли не полным профаном. Его перу принадлежали не только снискавшие расположение читающей публики лирические стихи и поэмы, но и продолжение популярного тогда немецкого сочинения некоего Швентнера «Отдох-

новения: математические и философические». — труда весьма поверхностного с точки зрения научной.

И в этом-то «Продолжении к Отдохновению» мы находим строчки: «Сатурн имеет при себе два кольца». Правда, схематический рисунок, который сопровождает это немаловажное заявление, показывает, что автор не представляет себе его подлинное значение и, скорее всего, имеет в виду что-то иное, известное всем, но просто более витиевато высказанное...

В 60-х годах XVII века конструкция телескопов стала уже куда совершеннее, появилось немало приборов с диаметром всего примерно в два дюйма (5 см), в которые можно уже было увидеть кольцо Сатурна без особого труда; эти наблюдения как бы вошли в моду. Вскоре накопились сведения о всех капризах этого прекрасного объекта.

Оказалось, что поведение кольца подвержено строгой цикличности. Дважды в течение каждого сатурнова года (а он равен 29,5 земных лет) — первый раз, когда планета встает между созвездиями Тельца и Близнецов, и второй — когда она вступает в созвездие Стрельца, — земной наблюдатель видит кольцо во всей его первозданной красе. В другие же два периода, когда Сатурн находится вблизи созвездий Рыб и Льва, кольцо, как заколдованное, исчезает, словно его и не бывало.

Плоскость кольца совпадает с плоскостью экватора Сатурна. Если бы его ось вращения не имела никакого наклона к эклиптике, мы всегда бы видели кольцо проходящим через центр диска планеты. Оно тогда всегда предстало бы нашему взору с торца, подобно игровой карте, положенной горизонтально, на уровне глаз. Тонкое кольцо на столь огромном расстоянии в таком случае еще труднее разглядеть, чем ребро игровой карты на многометровой дистанции. И Сатурн казался бы людям простым шаром, как Марс или Венера, например.

К счастью для ученых, ось вращения Сатурна наклонена по отношению к плоскости его обращения вокруг Солнца примерно на 27° . Кольцо — тоже. В своем зашифрованном письме это и отметил математически мыслящий Гюйгенс.

При обращении Сатурна вокруг Солнца кольцо сохраняет свое положение относительно планеты

(рис. 16). Поэтому земным астрономам и удастся видеть его в разное время под различными углами. Дважды в течение сатурнова года оно полностью раскрывается и видно лучше всего и дважды становится к нам ребром, и еще совсем недавно в эти периоды исчезало из вида.

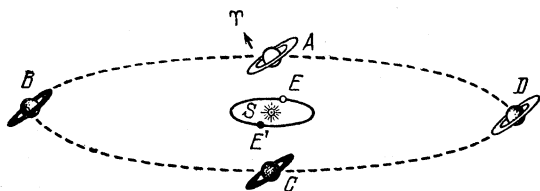


Рис. 16. Положение Сатурна с его кольцом, изменяющееся относительно Земли и Солнца, то позволяет нам наблюдать плоскость кольца, то ставит его к нам почти невидимым ребром (S — Солнце, E , E' — различные положения Земли).

Правда, надо сказать, что современный исследователь и в это время может различить тень кольца на диске Сатурна — она там лежит темной полоской. Более того, с середины 30-х годов нашего века появились уже такие оптические приборы, мощность которых позволяла опытному наблюдателю улавливать слабое свечение, едва различимую серебристую полоску, которая возникает в результате того, что кольцо слегка «подсвечивается» лучами, отраженными от поверхности планеты.

Но во времена Галилея таких приборов не было. Вот почему, открыв кольцо в 1610 г. и понаблюдав его некоторое время, в следующем году он его потерял. Гюйгенс же, поняв причину и установив продолжительность цикла, сумел предсказать три следующих момента, когда кольцо должно было «исчезнуть»: в июле 1671, в марте 1685 и декабре 1700 гг. Кольцо покорно «слушалось» великого математика даже и после его смерти (до последнего из предсказанных им сроков Гюйгенс не дожил пять лет). Такое поведение кольца стало новым триумфом астрономии, которой стали верить даже люди невежественные...

Читатель, вероятно, заметил, что «украшение» Сатурна здесь упоминалось нами лишь в единственном числе. Это было обычным с его открытия и до конца XVII века, когда, как мы уже говорили,

наблюдать это явление стало модой. Правда, в 1665 г. англичанин У. Болл заметил посредине кольца некую темную линию, но объяснить ее не смог, и его открытие особого интереса не привлекло.

Лишь десятью годами позже выдающийся ита-ло-французский астроном Джан Доменико Кассини (1625—1712), создатель и первый директор Парижской обсерватории, талантливейший наблюдатель, обнаружил с уверенностью: кольцо Сатурна не едино, оно состоит из двух частей, разделенных черной полосой. Ее, естественно, окрестили делением Кассини, тем более, что он же и предложил реальную гипотезу, что кольцо — не монолит, а скопление большого количества отдельных небольших частиц.

По одну сторону деления Кассини, ближе к поверхности Сатурна, лежит более яркое кольцо, а по другую — более тусклое. Полвека спустя знаменитый Василий Яковлевич Струве (1793—1864), основатель и первый директор Пулковской обсерватории, предложил обозначить внешнее кольцо буквой А, а внутреннее — буквой В. Наименования, хотя и лишённые нередкой в астрономии романтики, оказались удобными и применяются поныне.

В 1837 г. немецкий астроном Иоганн Франц Энке (1791—1865) заметил, что и само кольцо А не едино; оно рассечено очень слабо различимой полоской. Ее называли делением Энке. Впрочем, оно оказалось довольно эфемерным, и иногда его не удается обнаружить даже в сильный телескоп. Да и знаменитое деление Кассини, хотя и более постоянное, тоже временами «раздваивается», а временами даже в сильные телескопы выглядит как едва различимый переход в яркости кольца А. Многие вполне достойные доверия астрономы (в их числе, например, Лоуэлл, исследователь Марса и «предсказатель» существования Плутона) сообщали, что они в разное время видели в кольцах Сатурна самые различные неизвестные науке «интервалы». Вряд ли все эти опытные наблюдатели давали природе себя обмануть. Оставалось предположить: виденные ими явления реальны, но очень уж субтильны; срок их жизни невелик, и, в отличие от постоянно существующих делений Кассини и Энке, они то возникают, то пропадают.

В 1838 г. молодой Галле, тот самый, которому еще только предстояло через восемь лет обнаружить Нептун, был еще никому не известным ассистентом Берлинской обсерватории. Но не по годам опытный наблюдатель, он заметил, что у Сатурна в кольцо В «вложено» еще одно, очень «реденькое», так что через него даже можно ясно видеть саму планету, как сквозь вуаль. Теперь его называют то креповым, то кольцом С. Но первые 12 лет после открытия оно оставалось как-то в забвении. Может быть, авторитет Галле был недостаточно весом, а может быть, подтверждение найти было нелегко. А ведь еще много раньше, в 1673 г., парижский астроном Жан Пикар (1620—1682), работы которого о размерах Земли использовал для подтверждения закона всемирного тяготения сам Ньютон, намекал на вероятность существования полупрозрачного кольца Сатурна.

Сегодня-то существование крепового кольца — известный факт, и даже как-то странно, что до 1850 г., когда Джордж Филлипс Бонд (1825—1865) в Кеймбридже (штат Массачусетс, США) заново его открыл, о нем никто вслух давно не заявлял. Вероятно, тут опять виновата «эфемерность» этого создания. Креповое кольцо, согласно некоторым гипотезам, постоянно теряет свою материю: она выпадает «дождем» на поверхность самого Сатурна. А на место «высыпавшейся» столь же постоянно поступает новая материя, которую креповое кольцо занимает у кольца В. Если так, то этот процесс поможет объяснить тот факт, что у крепового кольца нет четко обозначенного внутреннего края.

В одну сентябрьскую ночь 1907 г. французский астроном — любитель Жорж Фурнье заметил у Сатурна нечто, напоминающее еще одно кольцо, лежащее вне кольца С. Но он и сам не был в этом уверен. Ровно год спустя о таком же факте сообщил швейцарец М. Э. Шаер из Женевы. В следующие годы поступили противоречивые известия: в Гринвиче «дополнительное» кольцо никому не удалось наблюдать, а в Йеркской обсерватории Чикагского университета работавший там на мощном телескопе Эдуард Эмерсон Барнард (1857—1923) его видел. Но этот астроном славился удивительно острым зрением; не каждый взялся бы опровергать то, что он утверждал. В 1911 г.

в Лилле (Франция) гипотетическое кольцо D якобы обнаружил астроном Р. Фонкхеер, после чего об этом явлении никто ничего нового не слышал больше 40 лет.

Лишь в 1952 г. опытный английский планетолог Р. М. Баум заметил кольцо D снова. Оно едва-едва светилося, и яркость его составляла не более 0,4 яркости кольца C, которое и само ведь — объект весьма тусклый. В 1954 г. эти наблюдения с оговорками подтвердили несколько человек, а в 1958 г. довольно уверенно — Р. Р. де Фрейтас Мурао, ведущий астроном в обсерватории Рио-де-Жанейро. Все это звучало не так уж убедительно, но все-таки теперь уже большинство специалистов склонялось к мнению, что кольцо D существует, по крайней мере время от времени...

Астроном С. Л. Ларсон из Аризонского университета наблюдал окрестности Сатурна при помощи 154-сантиметрового телескопа, снабженного особо высокочувствительным оборудованием, позволяющим фиксировать в пять раз более слабое свечение, чем это удастся с обычными фотографическими приборами. Кроме того, эти наблюдения осуществлялись в таком диапазоне длин волн, в котором метан поглощает, а не отражает солнечное излучение. Это меняет дело, потому что атмосфера Сатурна содержит очень много метана, и при таких именно наблюдениях изображение планеты становится более тусклым, чем ее кольца, и их не засвечивает.

Два года потратил Ларсон на обработку полученных им материалов. Сперва, используя данные всех прежних наблюдений, он построил модель, показывающую, как яркость колец должна изменяться по мере продвижения от Сатурна к периферии его системы. Учел он, конечно, и те искажения, которые вносит в результаты исследования состояние нашей земной атмосферы в ночь наблюдения, и те, что зависят от оптики самого прибора. Оказалось, что фактические наблюдения хорошо совпадают с теоретической моделью и, следовательно, надежны.

Все это позволило Ларсону в 1979 г. выделить изображение кольца D и определить, что его свечение обладает всего 3—5% яркости наиболее светлой части всей системы колец Сатурна. Даже деление Кассини,

почти свободное от частиц, и то обладает большей яркостью, чем кольцо D!

Но и это, как оказалось, не все. В том же 1979 г. пенсильванский астроном У. А. Фейбелман (обсерватория Аллегени, США) обнаружил относительно яркую линию, заметную, когда на кольца смотрят «с ребра». Оказалось, что эта линия простирается вдвое дальше от Сатурна, чем диаметр известной до тех пор системы его колец.

Данные Фейбелмана использовал Б. Смит из Аризонского университета. Ему удалось вычислить, что плотность такого внешнего кольца должна быть в 400 тысяч раз меньше, чем даже у ларсоновского кольца D.

Английским астрономам, работающим на Гринвичской обсерватории, все же удалось сфотографировать это сверхразреженное кольцо. Вслед за ними это достижение было повторено американскими учеными, и, наконец, сомнения исчезли: у Сатурна есть не менее четырех колец, хотя и разных по плотности и свечению. Основная масса их материи, конечно, заключена в наиболее плотном кольце В.

Но что же они собой представляют, из чего «сделаны» эти кольца, как существующие несомненно, так и трудноуловимые, сомнительные?

Гюйгенс был убежден, что они сплошные. Так они выглядели, и этого в те времена было достаточно. И затем в продолжение целого столетия все остальные астрономы не знали в этом сомнения. Многие даже считали, что деление Кассини — всего лишь темная полоска на ярком фоне кольца, результат иной окраски, а не щель или материально существующий пробел. (Такое мнение держалось прочно, пока сквозь деление Кассини не удалось наблюдать звезду.)

Однако если кольца представляют собой сплошное тело, то должны возникнуть разногласия... с законом всемирного тяготения. А с законами лучше не спорить. Применительно к кольцам Сатурна об этом первым заявил великий Лаплас. Продолжив и развив дело Ньютона, он разработал подробнейшие «правила движения» небесных тел. Это он (питомец школы бенедиктинского монашеского ордена!) ответил на вопрос Наполеона, почему в его грандиозном многотомном

«Трактате о небесной механике» ни разу не упомянут господь бог: «В этой гипотезе я не нуждался»...

Как мы уже знаем, чем дальше от планеты находится тело, тем медленнее в соответствии с III законом Кеплера оно вокруг нее обращается. Например, внутренняя часть колец Сатурна совершает один оборот вокруг планеты всего лишь за 40% того времени, которое на это же потратит самая внешняя часть этих колец. Тут ведь сказывается ньютонов закон, согласно которому сила тяготения убывает пропорционально расстоянию, взятому во второй степени.

Если бы кольца Сатурна были сплошными, то они должны были бы вращаться как единое целое, и каждая часть завершала бы полный оборот за то же время, что и любая другая. Но тяготение тогда «притормаживало» бы более удаленную от Сатурна часть относительно быстро бегущей ближней. В результате возникли бы такие мощные приливные силы, которые вскоре разорвали бы единое кольцо на части, из чего бы оно ни состояло.

Лаплас предложил модель, по которой украшение Сатурна представляет собой систему из нескольких вложенных друг в друга цельных колец, настолько узких, что этим приливным эффектом уже можно пренебречь: он разорвать узенькое кольцо не в силах. А деление Кассини — просто крупнейший из пробелов между отдельными кольцами, вот его первым и открыли. Мы уже описали, как астрономы десятилетия за десятилетием с переменным успехом бились, чтобы отыскать остальные кольца, существование которых столь блистательно пророчествовал Лаплас.

Но не прошло и 30 лет со дня смерти великого француза, как известный шотландский математик Джеймс Клерк Максвелл (1831—1879) сообщил ученому миру: выводы Лапласа неполны. Даже узенькие кольца, если они цельные, не вынесут такого напряжения и развалятся. Единственный выход для Сатурна, если он не хочет лишиться своего украшения, — это «изготовить» его из множества отдельных мелких тел, каждое из которых слишком мало, чтобы заботиться о влиянии сил тяготения. Так, по мнению Максвелла, природа и поступила, выделив на сооружение колец целый сонм мелких обломков и пустив их в круговращение около Сатурна.

Впрочем, как альтернатива, одно время возникло даже довольно экзотическое предположение: а не жидкие ли кольца? Действительно, ведь нет природного запрета и на такие «стройматериалы» для космических объектов, нужно только это проверить. Проверить, пока нет способа «пощупать» или как следует понаблюдать, — это чаще всего означает посчитать. И здесь за дело взялся математик — наша незаурядная соотечественница, первая из российских женщин, ставшая профессором, Софья Васильевна Ковалевская (1850—1891), доктор философии Геттингенского университета, профессор Стокгольмского, и только потом член-корреспондент Петербургской Академии наук.

Она посвятила этой проблеме свою единственную за всю жизнь астрономическую работу, озаглавленную «Дополнения и замечания к исследованию о форме кольца Сатурна». В ней теоретически рассматривается проблема «прочности» этого образования и делается уверенный вывод: ни жидким, ни газообразным кольцо никак быть не может — недостаточная устойчивость под воздействием приливных сил тяготения давно бы привела к рассеянию его в пространстве. Не удовлетворившись лишь этим, С. В. Ковалевская мимоходом еще высказала мнение, что сечение колец Сатурна должно быть яйцевидным; в этом, moreover, она опиралась на более раннюю работу Лапласа о жидких кольцах вообще.

Пришла пора проверить все сказанное наблюдениями.

...Рассказывают, что лет 140 назад австрийский физик Христиан Доплер (1803—1853) прогуливался со своим сыном где-то в окрестностях Праги. Внезапно мимо них по рельсам промчался выскочивший из-за поворота шумный паровичок. И мальчик спросил, отчего это, когда паровоз приближался к ним, тональность его свистка становилась все выше и выше, а стоило ему пройти мимо, как тон свиста стал понижаться.

Трудно теперь сказать, легенда ли это, или вправду любознательность сына пробудила интерес ученого, но только эффект, открытый в 1842 г. Доплером и получивший его имя, стал подлинным кладом информации для специалистов в самых различных областях знания.

А состоит он в следующем. Когда источник какого-либо излучения — звукового, светового или радио, — это роли не играет, — движется относительно стоящего на месте наблюдателя, его волны приходят к наблюдателю не с той частотой, с какой они покинули источник. Если источник приближается к наблюдателю, частота их увеличивается, при удалении же источника частота волн уменьшается.

Если излучающий свет объект сближается с нами, в спектре его излучения все линии смещаются в сторону фиолетового конца, а если расстояние между нами растет, то мы увидим все спектральные линии сдвинутыми в красный его конец, причем величина смещения прямо пропорциональна скорости взаимного приближения или удаления.

Еще в 1895 г. принцип Доплера независимо друг от друга взяли на вооружение два видных астронома — пулковец академик Аристарх Аполлонович Белопольский (1854—1934) и директор обсерватории Аллегени (США) Джеймс Эдуард Килер (1857—1900). Идеи нередко носятся в воздухе, и оба, не зная друг друга, применили не столь уж различную методику, основанную на доплеровском эффекте.

Так, А. А. Белопольский расположил щель своего спектрографа вдоль колец Сатурна и увидел, что спектральные линии западного «ушка» наклонены по отношению к линиям спектра самой планеты в одну сторону, а восточного «ушка» — в другую. Стало ясно: с одной стороны Сатурна частицы, из которых «сделаны» кольца, бегут к Земле, а с другой — от нее удаляются; скорость же этого движения тем меньше, чем дальше частица расположена от своей планеты.

Дж. Э. Килер измерил эту скорость и установил: на периферии колец частица в своем полете вокруг Сатурна имеет скорость «лишь» 17 км/с, а та, чья орбита расположена вблизи планеты, несется со скоростью почти 20,9 км/с. Вот насколько быстрее внутренний край колец, подчиняясь закону Кеплера, обращается быстрее, чем внешний *).

*) Работа Килера, в которой он в 1895 г. излагал результаты своих наблюдений, называлась «Спектрографическое доказательство метеоритного состава колец Сатурна». (Разрядка моя. — Б. С.)

Максвелл был прав: кольцо представляет собой скопление небольших частиц, движущихся независимо друг от друга.

Но тогда следовало предположить существование у Сатурна третьего кольца. Поэтому его открытие было лишь подтверждением правильности предположения Максвелла. Более того, согласно его гипотезе оно обязательно должно быть «слабеньким» объектом; ведь ему надлежит состоять из меньшего числа обломков, чем первые два. Так оно и оказалось.

Есть и другой свидетель, рассказывающий о структуре кольца. Как ни странно, это... тень. Действительно, даже в слабосильный двухдюймовый (5 см) телескоп можно заметить тени, отбрасываемые кольцами на диск Сатурна. А уж глядя в более сильный прибор, видишь, что край такой тени как бы зазубрен. Это можно объяснить, предположив: материал, из которого «сделан» отбрасывающий тень объект, распределен в пространстве неравномерно. Лучше всего такая неравномерность описывается гипотезой скопления множества мелких частиц (рис. 17). Так гипотеза, подтверждаемая с разных сторон независимыми друг от друга методами, и стала общепринятой теорией.

Итак, перед нами пусть неплотные, но огромные образования. Наша Земля могла бы целиком уместиться на любом из этих колец, не заняв всю его ширину. Если даже взять лишь три открытых первыми кольца, то на них поместилось бы пять таких планет, как наша, причем деление Кассини оказалось бы слишком узким, чтобы Земля могла сквозь него провалиться...

Зная ширину колец, нетрудно подсчитать их площадь в сравнении с земной: площадь кольца С почти равна 32 поверхностям нашей планеты, кольца В — 67, а кольца А — 53 ее поверхностям. Общая поверхность колец в 1,7 раза превышает площадь поверхности самого Сатурна.

Не забудем об их малой плотности и толщине, составляющей, как тогда думали, что-то около 2,5 км. Все же, если представить себе всю массу колец собранной воедино, то получится шар диаметром около полутора тысяч километров,

Такой объект случайно не возникает, и «родословную» его начал создавать в 1849 г. французский астроном Э. Рош.

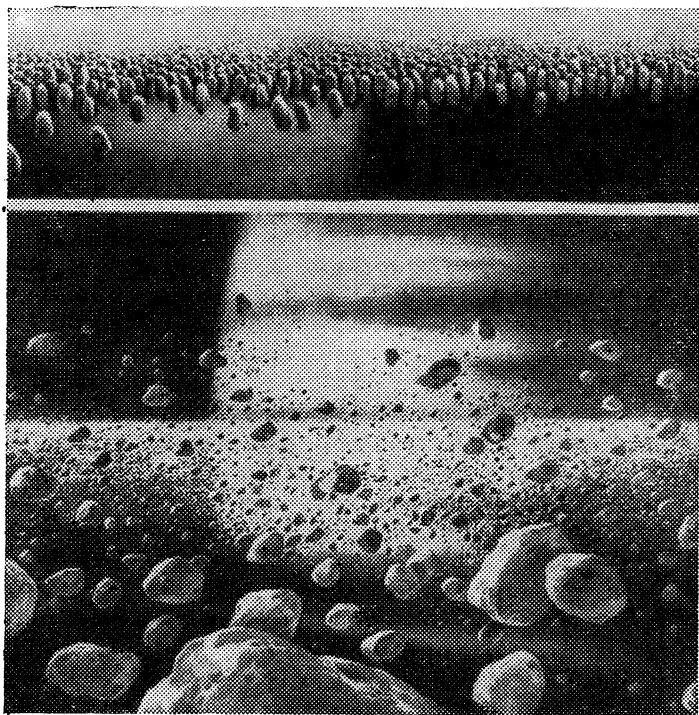


Рис. 17. Художник-астроном Людек Пешек иллюстрирует две альтернативные гипотезы строения колец Сатурна: на верхнем рисунке ледяные цилиндрические тела примерно равных размеров, обточенные постоянным трением друг о друга, обращаются вокруг планеты, образуя весьма плоское кольцо. Внизу изображен вариант, по которому покрытые льдом каменные обломки размерами «от горошины и до равных роялю» образуют кольцо значительно большей мощности.

Как мы помним, Рош вынес приговор: всякий мало-мальски крупный спутник, если у него и планеты одинаковая плотность, стоит ему подойти к своей планете ближе известного предела ($2,44$ ее радиуса), обречен смерти. Более того, если даже рядом с пла-

нетой оставался запас неиспользованного при ее образовании обломочного материала, то «слипнуться» воедино, образовав новый спутник, он не может, если расположен ближе к ней, чем то же самое, роковое для спутников расстояние, именуемое пределом Роша.

Так вот, внутренний край сатурновых колец лежит от планеты на расстоянии всего 1,28 ее радиуса, а внешний — на расстоянии 2,27 радиуса. Значит, вся система находится внутри предела Роша и либо образовалась при развале спутника (или спутников), либо обречена оставаться несостоявшимся дополнительным спутником.

Во всем этом уже заключены две гипотезы возникновения колец Сатурна. Согласно одной из них вначале было тело — единый спутник, впоследствии раскрошившийся на части, которые образовали хоровод вокруг планеты. А согласно другой, кольца, наоборот, представляют собой несостоявшийся спутник, «отходы производства» самой планеты или ее спутника, обреченные быть разьединенными внутри предела Роша.

Здесь хочется извлечь из забвения еще один случай предвидения. В 1776 г. в немецком городке Фульда был издан анонимный учебник по естественным наукам, в котором неизвестный автор заявлял: «Полагают, что кольцо вокруг Сатурна состоит из большого числа сатурновых спутников, пребывающих в соседстве». А ведь до того, чтобы это стало научным фактом, оставалось еще ни много, ни мало — лет восемьдесят...

Приходится все же признаться, что размеры, форма, точная природа частиц, из которых состоят кольца, все еще доподлинно неизвестны. Поэтому каждая работа в этой области привлекает внимание специалистов. Несколько лет назад, например, научные сотрудники Массачусетского университета в Амхерсте (США) К. Ламме и У. Ирвин изучили 70 фотопластинок с изображением системы Сатурна, полученных в течение 1969—1975 гг. в астрономической обсерватории Университета штата Нью-Мексико (Лас-Крусес, США).

При этом выяснилось, что у кольца А отражающая способность разных участков различна. А вот у кольца В такой особенности нет.

Простейшее объяснение этой странности, по мнению Ламме и Ирвина, состоит в том, что частицы,

входящие в кольцо А, не только обращаются вокруг Сатурна, но и вращаются вокруг собственной оси, причем их периоды совпадают. Значит, эти частицы, подобно нашей Луне, всегда обращены к планете одной и той же стороной. Но так вести себя могут только тела с определенными размерами и структурой, которыми частицы кольца В, вращающиеся несинхронно, очевидно, не обладают...

Коснемся их рукой...

Но вот наступила эпоха непосредственного изучения космического пространства. Посланные человеком автоматические межпланетные станции должны были приступить к разведке дальних областей Солнечной системы. «Пионер-11», запущенному в апреле 1973 г., потребовалось шесть с половиной лет, чтобы добраться до окрестностей Сатурна. Он уже был в полете, когда его конструкторы и ученые были встревожены сообщениями об открытии по наземным наблюдениям еще одного, пятого кольца Сатурна.

Это едва видимое внешнее кольцо Е могло оказаться смертельным для космического аппарата, летящего с огромной скоростью. Согласно планам «Пионер-11» должен был пройти между Сатурном и его самым внутренним кольцом D под углом $16^{\circ},5$ к плоскости кольца. При этом межпланетная станция могла столкнуться примерно с 10 тысячами частиц диаметром в 1 см. А тут еще дополнительная опасность, пусть и от очень разреженного новооткрытого кольца Е! С Земли полетела команда изменить траекторию, и межпланетная станция между основными кольцами и Сатурном не пошла.

1 сентября 1979 г. «Пионер», находясь всего в 20 900 км от облачного покрова Сатурна, прошел кольцо Е. При этом счетчик метеоров насчитал пять соударений: два как раз в момент перед самым пересечением плоскости кольца, одно — на расстоянии 1,6 радиуса Сатурна и два — когда аппарат зашел за планету. На Земле это вызвало всплеск радости — аппарат цел. Кроме того, это характеризовало кольцо Е: или частицы, из которых оно состоит, очень малы и счетчики эту «пыль» просто не почувствовали, или же

вся его материя сконцентрирована в более крупных телах, которые так далеко отстоят друг от друга, что вероятность столкновения с ними незначительна. Даже установленные на борту «Пионера» чувствительные приборы не зафиксировали никакого следа этого гипотетического кольца.

Впрочем, «закрытие» одного кольца немедленно сопровождалось открытием другого. Обработав материалы, присланные межпланетной станцией, Т. Герелс и Л. Эспосито обнаружили существование узкого — километров в пятьсот шириной — кольца, которое они обозначили буквой F. Оно отделено от внешнего края кольца A расстоянием менее примерно в 4000 км. Вот в эту «щелку» межпланетная станция и прошла

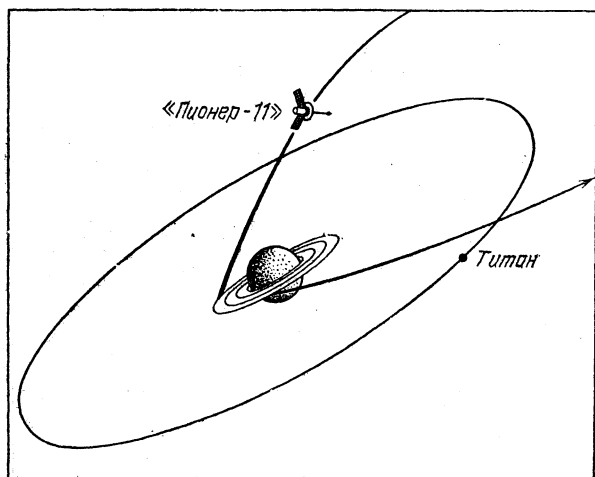


Рис. 18. Так пролетела в районе Сатурна межпланетная станция «Пионер-11», показавшая его кольца с той стороны, с какой люди, оставаясь на Земле, их видеть не могли.

(рис. 18). Новооткрытому пробелу присвоили наименование «деление Пионера».

Изображения колец на этот раз были по четкости беспрецедентными. Дело в том, что большую часть времени перед максимальным сближением с Сатурном «Пионер-11» находился с одной стороны колец, а Солнце с другой, и создавалась отличная контрастность изображения.

Нет, недаром «Пионер-11» преодолел 3 миллиарда 200 миллионов километров. Дважды пересек он плоскость колец, находясь примерно всего в 38 тысячах км от внешнего края тех из них, которые видны с Земли. За какие-нибудь 10 суток, проведенных в обществе «сатурновой семьи», он помог нам узнать о ней очень многое.

Когда астрономы смотрят с Земли на кольца (рис. 19), те выглядят светлыми, а пробелы между

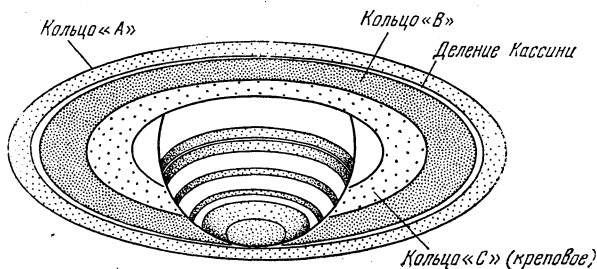


Рис. 19. Строение наиболее ярких колец Сатурна.

ними — темными. Для аппаратуры «Пионера» темными были кольца, а пробелы светлыми. В то же время измерения показали, что пробелы действительно довольно «пустые» — число частиц в них очень мало.

Среди сюрпризов, преподнесенных нам «Пионером», большие споры вызвало «закрытие» некоторых колец. Ведь его бортовые приборы, как фотооптические, так и магнитные, не заметили никаких признаков, подтверждающих существование не только самого внешнего из украшений Сатурна, но и самого внутреннего — кольца, которое с Земли, казалось бы, наблюдается, хотя и без большой уверенности.

Из оставшихся несомненными самое внешнее кольцо А предстает на фотографиях «Пионера» как объект, в пределах которого можно было уже рассмотреть некоторые подробности его структуры. Внешняя четверть этого кольца по ширине выглядит много темнее, чем остальная его часть, и, значит, здесь содержится больше материи. А в более внутренних районах кольца А, оказывается, есть несколько участков, где плотность частиц очень мала. Впрочем, если продвинуться еще ближе к планете, то здесь

плотность частиц снова резко возрастает, и кольцо А становится почти столь же непрозрачным, как его сосед — кольцо В, которое почти совсем свет сквозь себя не пропускает, почему его с Земли так ясно и видно.

Деление Кассини привычно считали чуть ли не пустым местом, настолько «ненаселенным» оно выглядит с Земли. «Пионер-11» с решительностью опроверг такое мнение. На его фотоснимках этот район выглядит весьма светлым и, следовательно, он содержит определенное количество частиц. Особенно интересно, что их скопление приходится как раз на середину этого пробела между кольцами (рис. 20).

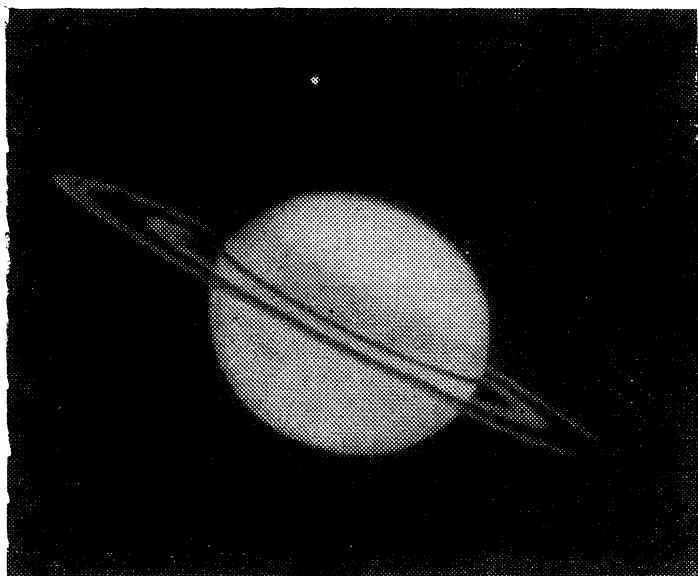


Рис. 20. На снимке, сделанном с борта «Пионера-11», когда он находился в 2,8 млн. км от Сатурна, видны кольцо А и светлое деление Кассини с внутренней его стороны. Яркое пятнышко над планетой — ее спутник Титан.

Креповое кольцо С, при наземных наблюдениях едва светящееся в сумеречном свете, доверчиво показало «Пионеру» свои частицы. Теперь можно сделать вывод, что плотность их здесь, очевидно, настолько же мала, как в пределах деления Кассини.

И еще межпланетная станция порадовала астрономов Франции. За последние годы некоторые из них приводили свидетельства того, что между кольцами В и С должно быть неизвестное доселе деление. И вот фотоглаз «Пионера-11» сумел заснять нечто, с Земли вообще неуловимое: тень колец, лежащую на верхушках облаков, плавающих в верхних слоях сатурновой атмосферы! Когда снимки обработали, на них с очевидностью обнаружился гипотетический пробел между кольцами В и С шириной примерно 4200 км. Название его напрашивалось само: Французское деление.

Даже сам характер полета межпланетной станции, без взгляда на показания бортовых приборов, уже несет в себе немало информации. Ведь измеряя траекторию движения рукотворного небесного тела, можно судить о том, какому тяготению и с какой стороны оно подвергалось. Изучив маршрут «Пионера-11», ученые сделали выводы, пусть еще предварительные, об общей массе и плотности колец. Оказалось, что кольца А и В обладают меньшей плотностью, чем ожидалось.

Инфракрасные датчики «Пионера» измерили температуру колец. Обнаружилось, что там, где кольца освещены Солнцем, она составляет -203°C , а в отбрасываемой Сатурном тени холоднее, но, как ни странно, совсем ненамного: там -210°C . Да и сам Сатурн оказался градусов на пять теплее, чем ожидалось (его температура составляет что-то около $-179 \pm 3^{\circ}\text{C}$). Объясняя этот феномен, руководитель эксперимента по измерениям в области инфракрасной части спектра А. П. Ингерсол высказал такое предположение. Очевидно, кольца получают тепловую энергию от самой планеты, а на таком огромном расстоянии от Солнца его лучи делают сравнительно небольшой вклад в общий энергетический баланс сатурновой семьи. И общая температурная кривая говорит, что планета излучает в окружающее ее пространство в два — два с половиной раза больше тепла, чем прибывает сюда от Солнца.

Но ведь закон сохранения энергии должен соблюдаться: из ничего ничего не бывает. Откуда берутся излишки энергии? Можно полагать, что она появляется как результат идущего у нас на глазах процесса

отделения друг от друга двух важнейших элементов, из которых в основном «сделана» эта планета,— водорода и гелия. При тех низких температурах, которые царят на Сатурне, гелий уже не может, как это происходит на более теплом Юпитере, оставаться в смеси с водородом. Плотность гелия больше: «разводясь» с водородом, он постепенно погружается в недра планеты, стремясь к ее ядру, и по мере опускания выделяет тепловую энергию. Она-то в основном и «отопляет» дом Сатурна, заброшенный так далеко от родного всем нам Солнца.

Между прочим, измерения в инфракрасной области спектра, выполненные приборами «Пионера-11», рассказали кое-что и о строении колец. Они опровергли гипотезу, согласно которой кольца в толщину равны диаметру средней своей частицы. Нет, оказывается, они потолще и состоят не из одного слоя частиц, а как бы из нескольких, лежащих друг над другом. А сами частицы, по-видимому, имеют размеры всего в несколько сантиметров каждая. Все это еще в 1951 г. утверждал московский астроном М. С. Бобров, изучивший результаты фотометрических наблюдений, выполненных на Земле.

В окрестностях системы сатурновых колец «Пионер-11» обнаружил таинственное свечение. Данные сравнили с теми, что ранее были получены с борта спутника «Эксплорер», хотя и не подходившего столь близко к Сатурну, но все же проводившего интересные наблюдения, в том числе и в ультрафиолетовой части спектра. В данных, полученных с «Эксплорера», тоже нашлись свидетельства такого свечения. Выяснилось, что за это явление несет ответственность атомарный водород, скопившийся в районе колец. Но откуда он берется? Пока что предложено два объяснения. Согласно первому, в поясах радиации, которыми обладает, как теперь оказалось, Сатурн, происходит поглощение протонов, порождающее водород. Согласно же другой гипотезе в кольцах происходит диссоциация воды, образующей там ледяное покрытие частиц, а при этом возникает атомарный водород; он и излучает загадочное свечение. Впрочем, может оказаться, что верны обе эти гипотезы.

Да, именно «Пионер-11» открыл, что Сатурн тоже обладает так называемыми поясами радиации;

подобными тем, какие обнаружили у Земли советские и американские ученые в период Международного геофизического года (1957—1959), когда заря космической эры, начатая нашим первым спутником, еще только разгоралась. Эти пояса, по существу, представляют собой ловушки заряженных частиц, удерживаемых вокруг планеты ее магнитным полем. Большую часть их населения составляют электроны и протоны с очень высокими энергиями. Оказалось, что их численность в окрестностях Сатурна примерно та же, что и у Земли, но объем поясов у гигантского Сатурна раз в десять превышает их объем вокруг нашей планеты.

Для нас же интересно вот что. Кольца Сатурна, как выяснилось, обладают немалым влиянием на его радиационные пояса. Стоит заряженной частице приблизиться к кольцу, как его материя без долгих слов буквально вычерпывает частицу из своего «царства». Уровень космической радиации здесь поэтому падает, и в результате вся область сатурновых колец, начиная от самой их разреженной периферии и вплоть до поверхности планеты, является, вероятно, самой безрадиационной зоной во всей Солнечной системе. Заряженные частицы в поясах обычно проводят жизнь в пути от одного полюса планеты до другого и обратно, отражаясь, как от зеркала, от ее магнитного поля. А у Сатурна они, попадая во внутреннюю часть окрестностей планеты, натыкаются там на ее кольцо и поглощаются. Так и возникает эта редкостная безрадиационная зона окольцованной планеты.

Межпланетная станция приближалась к Сатурну, интенсивность заряженных частиц все увеличивалась и увеличивалась. В момент перед самым входом в систему колец, на расстоянии от планеты в 2,33 ее радиуса, она достигла максимума. Но стоило «Пионеру» пройти через плоскость колец в их внутреннюю зону, интенсивность и количество частиц упали до уровня примерно в 30 раз ниже нормы.

Вот почему за целые 10 суток пребывания рядом с Сатурном «Пионер-11», прикрытый от радиации щитом колец, получил всего 9 миллиардов электронов на квадратный сантиметр своей поверхности, то есть такую же дозу, какую он получил лишь за две минуты, проходя в 1974 г. рядом с Юпитером.

Когда «Пионер-11» пролетал на расстоянии между 570 000 и 840 000 км от планеты, приборы записали такое поглощение электронов и протонов, которое ученым показалось странным. Единственное, что оставалось предположить, что здесь, недалеко за пределами кольца А, пролегает еще одно неизвестное кольцо (ему дали индекс G), столь разреженное, что его не только с Земли, но и с «Пионера» оптическими средствами не различить. А вот на заряженные частицы радиационных поясов оно свое влияние оказывает. Такой способ обнаружения небесных тел, верно, вызвал бы немалое восхищение и у великих астрономов старого времени.

Еще в прошлом веке Дж. К. Максвелл писал: «На самом деле, когда мы видим, как эта величественная арка висит над экватором планеты без всякой видимой опоры или связи, наш разум спокойным оставаться не может. Мы не в состоянии примириться с этим явлением, не можем описывать его просто как факт наблюдений, не предполагая отыскать ему объяснения»...

Но как найти объяснение, когда нет полноты фактов? И вот, наконец, в ноябре 1980 г. в окрестностях Сатурна появился новый наблюдатель — «Вояджер-1», прошедший в 124 000 километрах от планеты. Сразу же посыпались неожиданности. Если до сих пор считалось, что Сатурн обладает шестью, от силы — восемью кольцами, то сделанные «Вояджером-1» снимки показали: их количество измеряется сотнями, а быть может, даже близко к тысяче! Конечно, это не новооткрытые «полноправные» образования, а подразделения ранее уже наблюдававшихся колец.

Каждое широкое кольцо Сатурна, оказалось, состоит из множества узеньких, которые подобны бороздкам на грампластинке. И некоторые из этих «бороздок» имеют различную ширину на разных своих участках. Одна из них, например, с одной стороны достигает 80 км в ширину, а с другой — лишь 25 км.

При всей неожиданности открытия нашлись все же памятливые люди, которые «подняли» подшивку английского научного журнала «Мемуары Королевского астрономического общества» за 1825 г., а в них — сообщение астронома-любителя, некоего капитана Генри Катера: «После тщательных многочасовых

наблюдений у меня осталось мало сомнений, что то, что считалось самым внешним кольцом Сатурна, на самом деле состоит из нескольких колец».

Правда, их не «несколько», а сотни и сотни, но ведь это сказано за 155 лет до полета американского космического аппарата!

Даже внутри деления Кассини обнаружено множество неизвестных ранее «колечек», состоящих из мелких частиц. За двое суток до максимального сближения с планетой приборы «Вояджера-1» заметили, что два из колец Сатурна обладают эксцентricностью, то есть планета находится не в их центре, а несколько в стороне. Это — еще один случай открытия эксцентricных колец после колец Урана (см. с. 185).

Сутками позже — еще одно открытие. В кольце F, которое нашел «Пионер-11», были теперь замечены совсем уж «несообразные» вещи: оно оказалось подобным... плетеному жгуту или девичьей косе. Местами в нем замечались какие-то петли и «вилки». Два из трех «жгутов», из которых это кольцо свито, переплетают третье, делая по меньшей мере восемь витков вокруг него.

Первая реакция специалистов была: «Не может быть... Это уж слишком!» Действительно, механика такого странного образования — просто загадка. Высказываются предположения, что одна из «прядей» кольца F состоит из мелких частиц, заряженных электричеством, и магнитное поле Сатурна «завивает» эту «прядь» вокруг другой.

Несколько искусственно? Пожалуй, но ведь одними обычными законами небесной механики существование такой «косички» не объяснить. Приходится на помощь силам тяготения, взаимодействию многих тел и их столкновениям привлекать и другие эффекты.

Может быть, объяснению этого открытия послужит другое, тоже сделанное «Вояджером-1». Дело в том, что на поступивших от него снимках замечены два новых спутника, орбиты которых лежат как раз по обеим сторонам кольца F. Не исключено, что эти два «пастуха», пасущие частицы в кольце, на них и воздействуют, заставляя «завихряться» друг вокруг друга.

Казалось бы, достаточно чудес. Не тут-то было: Сатурн преподнес еще одно. В кольце B, самом ярком

и видимом с Земли, были замечены какие-то спицеподобные радиальные образования. На фотографиях, сделанных, когда космический аппарат находился над системой колец, а сами они были ярко освещены Солнцем, эти «спицы» представлялись темными полосами, соединяющими «обод» сатурнова «колеса» с его «втулкой».

Правда, еще в 1970-х годах американский астроном-любитель С. О'Мира, установив свой старенький телескоп на крыше, увидел в кольце В нечто подобное, но кто поверил тогда никому не известному непрофессионалу... Теперь же факт был налицо, и срочно потребовалось его объяснение. Если бы тут действовали одни только классические законы небесной механики, спицы бы разрушились очень быстро, но некоторые из них наблюдались около трех часов. Все же «долгожителями» эти «спицы» не назовешь: хорошо видные, когда кольцо только выходит из тени, они через несколько часов исчезают.

По мере погружения «Вояджера-1» под систему колец, «спицы» стали выглядеть яркими на фоне более темного самого кольца В. Значит, они — вовсе не пробелы в «ободе» планеты; ведь если бы это было так, они выглядели бы темными как при наблюдении сверху, так и снизу. Их яркость при взгляде снизу, когда Солнце находится за кольцами по отношению к «Вояджеру», означает, что «спицы» состоят из частиц, которые рассеивают солнечные лучи, а не отражают их.

А отсюда следует, что частицы эти обладают совсем небольшими размерами, сходными с длиной волны света. Такие частицы, действительно, могут подниматься над плоскостью кольца под воздействием электромагнитного поля. Не исключено, что их существование как-то связано с электрическими разрядами, подобными могучим молниям, которые временами наблюдаются в атмосфере Сатурна.

Но вот «Вояджер-1» нырнул под плоскость колец Сатурна. Отсюда открывался прекрасный вид на незадолго перед тем открытое наземными наблюдателями «наивнутреннейшее» кольцо D. Тут подтвердилось предположение, согласно которому это разреженное кольцо вообще чуть ли не касается верхнего края облачного покрова планеты. Необычное зрелище —

скопище мельчайших «лун», проносящихся над самыми облаками! Когда закончили анализ их излучения в радио- и инфракрасном диапазонах длин волн, то пришли к выводу, что эти частицы или целиком «сделаны» из льда, или представляют собой камень, «облицованный» ледяной коркой: может быть, помимо обыкновенного льда, сюда входят и гидраты метана и аммиака; плотность такого смешанного льда — около $0,6 \text{ г/см}^3$.

Когда «Вояджер-1» проходил непосредственно под кольцом С, от него пришел на Землю радиосигнал, характер поглощения которого в пути позволил сделать заключение, что это кольцо состоит из более крупных, чем у кольца D, частиц: их поперечник составляет не менее 1 м (а в кольце А они достигают 10 м), да и расположены они куда гуще. Потом «Вояджер-1» проследовал дальше и уже из окраин владений Сатурна прислал сообщение, что внешнее кольцо Е простирается примерно на 480 000 км от планеты.

Общая структура всех этих великолепных украшений, считая от поверхности Сатурна, по нынешним представлениям, состоит из колец D, C, B, A, F и E, причем кольца A, B и C в свою очередь делятся на многие сотни эфемерных «субколец», не удостоенных собственного наименования, даже буквенного. Не менее 99% всего солнечного света, отражаемого украшением Сатурна, дают лишь два кольца — сверкающие А и В. Вообще же частицы колец Сатурна, вне зависимости от тесноты их расположения или размеров, очень разных в различных кольцах, могут похвастаться прекрасным альбедо: они отражают более 60% падающего на них излучения Солнца. Размеры же частиц колеблются от 1 мкм до целого километра.

О толщине самих колец теперь тоже можно судить с большей уверенностью. У колец A, B и C она близка к 1,3 км. Теоретики подсчитали, что толщина зависит от двух факторов, «работающих» в противовес друг другу. Неупругие столкновения частиц стремятся расставить их в одной плоскости, чтобы толщина всего слоя была не больше диаметра любой частицы. С другой стороны, спутники Сатурна своим притяжением «раскачивают» слой частиц, сбивая наладившийся было стройный порядок.

Что же касается кольца F, то внутри него, очевидно, существуют не только мелкие и средние частицы, но и среднего размера спутники с размером до 20—30 км. Они по-своему организуют этот необычный

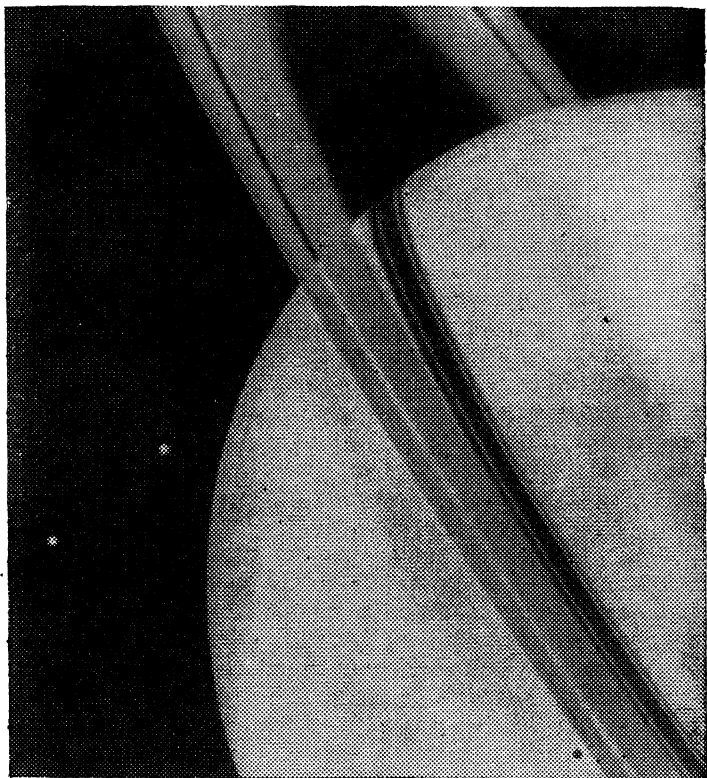


Рис. 21. В ноябре 1980 г. «Вояджер-1» сделал этот снимок, на котором, помимо сложного строения многочисленных колец Сатурна, хорошо видны его спутники, Диона (верхний слева от планеты) и Тетис. Различно также «новое» кольцо F.

«хоровод», влияя своим тяготением на распределение всех его участников.

Но откуда же вообще взялась вся эта прекрасная и столь сложная диадема на челе Сатурна? (рис. 21). Раньше чаще всего предполагали, что во всем «виноват»

Рош с его роковым для спутников пределом. Ведь все кольца лежат внутри той области, в которой приливные силы Сатурна обладают достаточной мощностью, чтобы растянуть небесное тело и преодолеть внутреннее сцепление его частиц.

Сразу за внешней стороной кольца А лежит зона гибели для тел, состоящих из льда с их плотностью около 1 г/см^3 , с внутренней стороны кольца В — для каменных спутников (их плотность примерно 3 г/см^3), а внутри кольца С даже крупный спутник ($5\text{--}7 \text{ г/см}^3$) довольно скоро должен был бы развалиться на куски. Даже самые прочные и монолитные небесные тела с радиусом от 10 до 15 км целиком существовать вблизи Сатурна практически не могут.

Такова теория. Но вот «Пионер-11», а за ним и «Вояджер-1», в кольцах планеты заметили глыбы немалого размера. Тогда воспрянули духом сторонники той гипотезы, по которой кольца — не дети растерзанного притяжением планеты спутника, а наоборот, первичные частицы, возможные предки еще не родившегося спутника, которому лишь предстоит возникнуть, если они когда-нибудь слипнутся воедино. Недаром же видный советский специалист по этой проблеме М. С. Бобров еще десять лет назад писал, что они представляют собой зону доспутникового роя Сатурна, внутри которой приливные силы воспрепятствовали веществу сформироваться в единый спутник. Он подчеркивал, что зона колец Сатурна — почти единственное место в Солнечной системе, где можно найти и исследовать остатки допланетной материи.

В августе 1981 г. окрестностей Сатурна достиг «Вояджер-2». Переданные им снимки показали, что на некоторых участках толщина колец составляет всего 150 м, а толщина края кольца А, обращенного в сторону деления Энке, равна едва 100 м. В кольце В зарегистрированы молнии невиданной силы: их мощность достигает 1000 МВт.

Титан среди спутников

Когда в марте 1655 г. Гюйгенс еще бился над тайной «ушек» или «ручек», принадлежащих Сатурну, он неожиданно-негаданно заметил вблизи этой планеты еще какое-то светлое пятнышко. Ночь за ночью он

следил за его поведением, пока не установил, что пятнышко движется вокруг Сатурна. Итак, Земля и Юпитер не одиноки — у Сатурна тоже есть свой «прислужник», — сделал он вывод.

Гюйгенс никакого имени новому спутнику не дал, называя его просто сатурновой луной. Лишь 203 года спустя Джон Фредерик Гершель (1792—1871), сын и помощник великого Уильяма Гершеля, предложил дать этому небесному телу имя Титан. Идея казалась сперва не слишком-то удачной. Правда, Титан — одно из прозвищ бога Солнца — Аполлона, или Гелиоса. Но он, во-первых, не имеет отношения к богу Крону (Сатурну), а, во-вторых, это имя было малоупотребительным даже в древности. Куда чаще титанами именовали сонм божеств старшего, дозевсовского поколения. Таким образом, это название, в отличие от других, также заимствованных астрономией в мифологии, — имя собирательное, а не собственное. Все же название спутника стало привычным.

Удовлетворению современников Гюйгенса не было конца. Еще бы, всё так ладно устроено на небесах: планет там шесть (были ведь известны лишь Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн) и спутников — столько же (Луна, Ио, Европа, Ганимед, Каллисто и «новичок»). Вместе с Солнцем, вокруг которого вся стройная система послушно движется, это удивительно совпадает с Библией: в зависимости от того, предпочитаете ли вы Ветхий завет или Новый, перед вашим взором воплощение или пророка Иакова с его двенадцатью сыновьями, или Иисуса с его двенадцатью апостолами.

Видел ли в этом сам Гюйгенс предначертание божеское или просто закон природы, мы не знаем, но только дальнейшие поиски новых спутников он прекратил и в 1659 г. заявил, что более никаких небесных тел в Солнечной системе обнаружено уже никогда не будет...

Открытие Титана в середине XVII в. было нелегким делом: ведь он был самым тусклым из всех известных к тому времени астрономических объектов. По сравнению с близкой к нам Луной он светится в 230 миллионов раз слабее, и даже относительно далекий Ганимед превосходит его в блеске почти в 30 раз. Да ведь и расстояние до Титана от Земли вдвое пре-

вышает расстояние, отделяющее нас от галилеевых спутников Юпитера.

Титан обегает вокруг Сатурна без малого за 16 земных суток. Расстояние спутника от его планеты составляет 1 221 000 км. Зная это и опираясь на III закон Кеплера, ученые смогли подсчитать массу Сатурна. Оказалось, что она в 95 с небольшим раз превышает земную. Таким образом, Сатурн по праву занял второе место после Юпитера в списке «тяжеловесов» Солнечной системы.

Сатурн — гигант, гигантом оказался и Титан, но точные его размеры астрономы долгое время никак не могли установить.

Существенный успех был достигнут совсем недавно. 29 марта 1974 г. наша Луна в очередной раз встала между Землей и Сатурном. При этом она заслонила от нас и Титан. Современные приборы умеют с большой аккуратностью определять момент, когда Луна «коснулась» Титана, его свет начал меркнуть, и когда он совсем исчез из виду. Скорость движения Луны хорошо известна, расстояние до Титана — тоже. Отсюда можно уже более или менее точно определить и размер интересующего нас объекта.

В конце концов высчитали, что диаметр Титана составляет около 5140 км, а ведь это ни много, ни мало, на полтора-два км больше, чем еще недавно полагали. Даже самостоятельная планета Меркурий, и та имеет диаметр почти на двести шестьдесят километров меньше. Вот тут-то все окончательно и поняли, что ошибка Джона Гершеля, крестного отца этого спутника, была мнимой. Данное им и казавшееся когда-то неудачным имя удивительно подошло: ведь в устах любого народа слово «титан» давно уже обозначает нечто огромное, и такому большому спутнику оно пристало как нельзя лучше.

При всех своих непомерных размерах Титан, возможно, уступает Ганимеду в массе, хотя и лишь на несколько процентов. Если взять Луну за единицу измерения, то масса Титана составляет 1,9.

Любопытно прикинуть, как же это сказывается на силе тяготения на его поверхности. Что ж, несложный расчет показывает: залетевший чудом на Титан человек, весивший на Земле, скажем, 72 кг, «потянет» там

едва-едва 8 кг. Чтобы оторваться от поверхности Титана и стать спутником этого спутника, телу нужно приобрести скорость 2,25 км/с, то есть впятеро меньшую, чем на нашей планете.

Плотных металлических, подобных земному, ядер — ни у одного из спутников Сатурна, по-видимому, нет. Да и каменистые материалы должны играть на Титане, как и на ближних спутниках, по всей видимости, не столь уж важную роль, так как их плотность близка к плотности воды. Судя по его плотности, примерно половину массы Титана составляет лед, плотность которого невелика, а объем может быть очень большим.

Вообразим, что мы с вами стоим на поверхности Сатурна (ясно, конечно, что твердого «покрытия» у этого скопления газов нет, но условно можно принять за поверхность верхушки его облаков). Тогда над нашей головой Титан будет поблескивать в сто раз слабее Луны тусклым диском размером вдвое меньше нее. Это потому, что система Сатурна много дальше от источника света — Солнца и сам Титан от своей планеты куда более удален, чем Луна от Земли.

Между прочим, оказалось, что у Титана свои капризы — светимость его непостоянна. Правда, за короткие сроки — месяцы, например, или год-другой, она меняется мало. Но стоило американскому астроному Л. Э. Андерссону изучить длинный ряд наблюдений, выполненных между 1896 и 1974 гг., то обнаружилась некая странность. В период 1951—1956 гг. звездная величина Титана в среднем была на 0,^m2 меньше, чем в 1973—1974 гг.

Вычисления показали, что периодичности, близкой к 29 с половиной годам (то есть времени обращения Сатурна вокруг Солнца), здесь нет. Нет и связи с 11-летним циклом солнечной активности. Значит, скорее всего, увеличение яркости Титана вызвано процессами на нем самом. Чем объяснить такие «чудеса», пока еще нельзя сказать.

Может быть, все это связано с материалом, из которого Титан состоит? На обсерватории Китт-Пик (штат Аризона, США) этими проблемами занялся Д. М. Хантен, а в Массачусетском технологическом институте — планетологи Г. Дж. Консолманьо и Дж. С. Льюис. Они пришли к выводу, согласно которому около 60% массы Титана должны состоять из

водного раствора аммиака NH_3 , а не менее 5% из CH_4 , то есть метана, или болотного газа, остальное же, вероятно, силикаты.

Верхние слои твердого тела Титана могут представлять собой обыкновенный водный лед, пронизанный вкраплениями болотного газа и растворенного NH_3 . На глубине в несколько десятков километров вследствие давления вышележащих слоев лед уже принимает жидкий вид. При наличии у Титана очень мощной и глубокой атмосферы такое таяние происходит не только в недрах, но и на поверхности. Точная температура, которая там царит, пока неизвестна, но полагали, что она находится в пределах примерно между 90 и 120 К (по более поздним сведениям,— еще выше,— около 160—180 К). Тогда «пейзаж» Титана образует сжиженный болотный газ, плавающий по поверхности раствора NH_3 в воде. Но ученым более вероятной все же представляется не жидкая, а твердая поверхность, в которой все равно главенствует тот же болотный газ. Естественно, возник вопрос о существовании на Титане атмосферы.

Сейчас, когда читатель уже знает о том, что атмосферой обладает Ио, такая идея дикой отнюдь не кажется. Однако лет сорок назад дело обстояло иначе. Напомним, что в то время даже крупный астроном Койпер отрицал подобную возможность для Ио, и понадобилось около трех десятков лет, чтобы опровергнуть это мнение.

Парадоксально, но факт: тот же самый Койпер, который отрицал за Ио это право, сам же и обнаружил атмосферу у Титана. Сперва, в 1942 г., он высказал свое предположение лишь умозрительно, исходя из теоретических предпосылок. Действительно, температура у такого далекого от Солнца тела должна быть не столь высока, чтобы молекулы газа, двигаясь очень быстро, могли полностью «сбежать» отсюда в космос. И размеры Титана, следовательно, его силы тяготения, достаточно велики, чтобы помешать такому массовому бегству. (Известно, например, что никакое небесное тело с диаметром, меньшим, чем у Луны, не может обладать постоянной газовой оболочкой, даже если она единожды там возникнет).

Зимой 1943—1944 гг. Койпер, работая на 82-дюймовом (205 см) телескопе обсерватории Мак-Дональд

на горе Маунт-Лок (штат Техас), получил интересные спектрограммы излучения Титана. Они оказались аналогичными спектрограммам Сатурна и Юпитера, у которых ведь, несомненно, есть атмосфера, и притом гигантская. Спектральные линии Титана недвусмысленно сказали ученому: газовая оболочка существует, она содержит немало метана. В дальнейшем же оказалось, что основную ее массу составляет азот.

Где атмосфера, там, естественно, есть и облачность. В небесах Титана можно ожидать облака двух видов: уплотненный, вездесущий метан и фотохимическую дымку, практически идентичную пресловутому смогу, окутывающему некоторые земные города с миллионным автомобильным «населением». Химический процесс фотолиза, происходящий в богатой метаном атмосфере, должен приводить к образованию разных полимеров, в том числе подобных «вару» или гудрону, хотя и со значительно меньшей относительной молекулярной массой, чем тот, что мы видим на забитых машинами автодорогах Земли.

Еще в атмосфере Титана может присутствовать водород H_2 . Согласно одной гипотезе он появляется из сернистого водорода H_2S , извергаемого вулканами, но они там еще не открыты. Правда, этот летучий газ пользуется всяким случаем, чтобы ускользнуть в космическое пространство. А на Титане, с его размерами, несопоставимыми с масштабами Юпитера и Сатурна, тяготение не столь уж велико. Достаточно температуры всего около 100 К, чтобы водород пустился «в бега». Мы же помним, что температура там как раз близка к этому пределу или даже превышает его. «Беглый» газ может образовывать на орбите Сатурна довольно толстую газовую «баранку». Тогда, как полагают некоторые ученые, часть водорода снова попадает в атмосферу Титана, и там поддерживается некое подобие динамического равновесия этого газа.

Молекула метана состоит из одного атома углерода и четырех водорода. Но углеродные атомы легко соединяются друг с другом в других различных сочетаниях, которые умеют привлекать к себе разное число атомов водорода. Поэтому весьма возможно присутствие

в атмосфере Титана и таких газов, как этан (C_2H_6), этилен (C_2H_4) и ацетилен (C_2H_2), хотя и в небольших количествах.

Такие сложные виды углеводородов — носители не одного, а двух (и более) атомов углерода С, скорее, чем метан, становятся жидкими. Поэтому можно себе представить на поверхности Титана целые углеводородные моря. А ведь и бензин, которым мы заправляем автомобильные баки, тоже из семейства углеводородов. Итак, бензиновый океан в космосе? Хотя и довольно обоснованная, но и не менее экзотическая картина, не правда ли?

Несколько десятилетий назад заметили, что свет, приходящий к нам от Титана, имеет желтоватый оттенок. Затем Койпер уточнил: оранжевый. А ведь этот цвет как раз присущ более сложным, чем метан, молекулам углеводорода. Оранжевые облака Титана, оранжевое небо, оранжевое море. Оранжевого верблюда, правда, астрономы не обещают, но...

Вообще-то говоря, если не о «корабле пустыни», то о какой-то иной, значительно более примитивной форме жизни на Титане можно помечтать. Действительно, если его сложные углеводороды соединяются с атомами других элементов, например, азота, кислорода, серы, фосфора, то исключить возможность тех или иных проявлений жизни нельзя.

Есть ли жизнь на Титане, нет ли ее там, — это лучше всего было бы выяснить прямым путем: послать туда автоматической станции, которая выполнила бы на месте все необходимые наблюдения и сообщила на Землю их результаты. Сравнительно небольшая сила тяготения Титана и наличие атмосферы (ее плотность, вероятно, много больше плотности марсианской и, может быть, превышает нашу земную), притормаживающей спуск и посадку, делают эту задачу не столь уж невыполнимой в реальном будущем. Сложнее, правда, создание необходимой при таких расстояниях совершенной телеметрической системы и разработка методик анализа, который дал бы исчерпывающий ответ на этот жгучий вопрос. Недаром же попытка американцев получить недвусмысленное решение загадки о жизни на Марсе пока осталась безуспешной. Впрочем, поживем — увидим.

В кругу сатурновой семьи

Недаром сказано: на всякого мудреца довольно простоты. И великий Гюйгенс, обладавший к тому же самым сильным телескопом своего времени, сознательно отказался от поисков новых спутников Сатурна, уверившись, что их нет и быть не может. Себя-то он уверил, но не других. Познание мира даже такой авторитет остановить не мог: еще при жизни Гюйгенса семейство Сатурна начало пополняться.

В 1671 г. один из талантливейших наблюдателей, которых знала астрономия, Кассини, тот самый, именем которого назван «пробел» в кольцах Сатурна, уже работал на построенной под его руководством Парижской обсерватории. Ночью 25 октября он стал первым человеком, установившим, что у Сатурна есть спутник помимо Титана. Всего двух дней не хватило до того, чтобы истек год, и Кассини открыл еще один, а двенадцать лет спустя 21 марта 1684 г. — еще сразу два!

Кассини не дал себе труда придумать название «своим» спутникам. Крестного отца им пришлось дожидаться более полутора веков, пока в 1850 г. Дж. Гершель не решил: раз они обращаются вокруг Сатурна, быть им его ближайшими родственниками. Так первый кассиниев спутник стал Япетом, второй — Реей, третий — Дионой, четвертый — Тетис *).

Всё это — титаны и титаниды, братья и сестры Сатурна (Крона). Япет, согласно древнегреческому мифу отец Прометея, давшего людям огонь, бунтарь, низвергнутый Зевсом в глубины Тартара. Богиня Рея — сестра и супруга Крона, породившая самого Зевса. Матерью Афродиты (Венеры) выступает в мифах Диона, жена Зевса. Тетис же — это богиня моря. Все они — дети Урана и Геи, то есть Земли и Неба, божеества старшего поколения, которым суждено низложить Урана и утвердить правление своего брата Крона... Не правда ли, удачнее имена для спутников Сатурна придумать было трудно?

*) В нашей литературе этот спутник иногда называют Тетфией. Такая транскрипция неверна, тем более, что у геологов давно закрепилось имеющее то же происхождение название древнего «ископаемого» земного моря Тетис. Неверно также наименование Фетида.

Орбита Япета проходит от Сатурна дальше, чем орбита Титана, а Рея находится по другую сторону этого спутника, ближе к своей планете. Из пары, открытой в одну и ту же ночь 1684 г., более внешней является Диона, а внутренней — Тетис.

Итак, к концу XVII в. Сатурн в глазах людских стал обладателем пяти спутников, и Юпитер со своей известной тогда галилеевой четверкой вынужден был уступить ему свое первенство. Более того, в июле — августе 1789 г. У. Гершель открыл близко к Сатурну еще два спутника.

«Титанические» имена, по-видимому, приелись, и в дело пошли имена гигантов — представителей младшего поколения сказочных небожителей, восставших против Зевса и разгромленных им. Вождями бунтарей были гиганты Мимас, обитавший на вулкане Этна, и Энцелад, имена которых отныне связаны не только с мифологией, но и с астрономией.

...Почему-то семейные и «династические» традиции в астрономии сильнее, чем во многих других науках. Здесь мы нередко находим семьи, в которых звездному небу посвящает себя одно поколение за другим. Плодотворному сотрудничеству представителей двух поколений — отца У. К. Бонда, основателя Гарвардской обсерватории (США), с его сыном Дж. Ф. Бондом (тем, который открыл креповое кольцо Сатурна) наука обязана обнаружением седьмого спутника этой же планеты, расположенного между Титаном и Япетом. Гиперион — так его называли по имени одного из титанов — отца солнечного бога Гелиоса (Аполлона) был открыт ими 16 сентября 1848 г. Всего через два дня его независимо открыл английский астроном Уильям Ласселл (1799—1880), о котором мы еще услышим, когда вместе с читателем прибудем в далекий мир Нептуна и Урана.

Это событие через тридцать лет снова доставило радость любителям порядка на небесах. Судите сами: у Меркурия и Венеры спутников нет, у Земли — один, у Марса, как в 1877 г. стало ясно, — два, у Юпитера — четыре, а у Сатурна, извольте взглянуть, — восемь. Аккуратнейшая прогрессия!

Однако находятся люди, готовые «отравить всем удовольствие». Мы уже знаем, что Барнард в 1892 г. открыл существование у Юпитера пятого спутника —

маленькой Амальтеи и тем нарушил все очарование магических чисел.

В дальнейших поисках слабо светящихся объектов, которые, как подсказывала интуиция Уильяма Генри Пикеринга (1858—1938), должны были существовать в окрестностях Сатурна, могло помочь только чувствительное фотооборудование. Работая под началом своего брата (опять эта астрономическая семейственность), директора Гарвардской обсерватории, он посвятил большую часть своей жизни внедрению фотографии в астрономию. Он также был энтузиастом распространения «выносных» наблюдательных станций, которые по его инициативе создавались под чужим небом — в Африке, Южной Америке, на островах Карибского моря.

Вот на одной из таких станций, в Арекипе (Перу) по просьбе Пикеринга астроном С. Бейли выполнил в 1898 г. ряд фотографий звездного неба. Анализируя снимок, Пикеринг в августе того же года установил, что на далеких окраинах сатурнова мира есть еще один — девятый — спутник. Пикеринг же и доказал, что новооткрытое тело обращается в обратном направлении и, следовательно, заслуживает присвоения женского имени. «Новорожденную» нарекли Фебой, одной из титанид, сестер бога Крона *).

Если между открытием восьмой и девятой лун Сатурна прошло около полувека, то десятая, казалось, заставила себя ждать не столь уж долго. 28 апреля 1905 г. удача пришла к тому же Пикерингу, работавшему на том же 24-дюймовом (60 см) телескопе в Арекипе. След нового спутника, нареченного Темис (то есть Фемида — богиня права и закона, еще одна дочь Урана и Геи), был на фотопластинке едва-едва заметен. С момента ее открытия больше никто ни разу не наблюдал Темис, и никакой уверенности в ее существовании пока нет.

Новое пополнение, как казалось, пришло лишь более половины столетия спустя. 15 декабря 1966 г.

*) Даже в некоторых солидных наших изданиях иногда этот спутник ошибочно именуется Фебом. Однако имя бога Солнца Феба (Аполлона) в латинском написании выглядит иначе. Кроме того, Феб в окружении членов семьи Сатурна — титанов и титанид — представляется совершенно чуждым персонажем.

французский астроном О. Дольфюс, работая на обсерватории Пик-дю-Миди, заметил еще один спутник Сатурна. Первооткрыватель дал новичку имя Янус, впервые нарушив тем самым традицию: так звали не древнегреческого, а римского бога, для которого у эллинов вообще не было эквивалента. Двуликий Янус у римлян «заведовал» воротами и дверьми, входами и выходами, войной и миром, концом и началом всего, он бог времени, ему посвящен месяц январь. Объясняя свой выбор, астроном указал: Янус — ближе всех спутников к Сатурну, он как бы открывает их шествие, а в порядке открытия он — завершающий, последний (это, впрочем, можно было бы сказать в момент обнаружения о любом из них).

Убедительна ли такая логика или нет, удачно ли название — здесь не самое существенное. Важнее, что Янусу предстояло «прожить» недолго: спустя тринадцать лет его... закрыли. О том, как это произошло, расскажем немного позже.

А пока астрономы спорили, считать ли Янус девятым или десятым слугой Сатурна, что зависело от того, подтверждается ли существование весьма сомнительной Темис. Тем временем в 1977 г. в аризонской Лаборатории наук о Земле и планетах теоретики Дж. У. Фаунтин и С. М. Ларсон попытались открыть на кончике пера еще один спутник и призвали себе на помощь... Янус.

Проанализировав его предполагаемую орбиту (2,66 радиуса Сатурна) и довольно неясные изображения на всех имеющихся фотопластинках, они пришли к выводу: у Сатурна должен быть еще один спутник. И находиться ему следует где-то вблизи внешнего сатурнова кольца А, примерно в 151 000 км от центра планеты. Впредь до выяснения истины объект получил временное название «ХІ», что значит просто «Одиннадцатый Сатурна».

Дальнейшее же показало, что с утверждениями и опровержениями не стоило спешить. Ведь со времени его открытия Янус «наблюдал» всего раз двадцать, орбита его как следует установлена не была. Значит, хотя в принципе и было возможно, что рядом с кольцами Сатурна есть еще сколько-то неизвестных небесных тел, строить на поведении одного Януса уверенные выводы еще рано.

Теперь появились у человека такие помощники, о которых не только в век Галилея или Гершеля, но и в куда более близкие дни Пикеринга не приходилось и мечтать.

Когда «Пионер-11» пересек открытое им кольцо, приборы регистрировали какое-то сравнительно небольшое тело, очевидно, обращающееся вокруг планеты. Спутник? Но какой? Может быть, все же Янус? Или же XI? Или, наконец, совсем иной, еще неведомый небесный странник? Так или иначе, анализ доплеровского смещения телеметрического радиосигнала, посланного землянам «Пионером», показал, что здесь он, чуть не столкнувшись, пролетел в опасной близости с какой-то из сатурновых лун, а из хорошо известных ни одна, как будто, в этом районе тогда находиться не могла. Орбита спутника (его временное название — Скала «Пионера») пролегает примерно в 90 000 км над поверхностью планеты, которую он обходит за 17 часов.

Материалы, собранные «Пионером-11», легли на стол Т. Герелса, и этот американский ученый обратил внимание на такой факт. В 2,66 радиуса Сатурна от планеты (то есть примерно в 160 000 км), где, как утверждают, проходит орбита Януса, частицы высоких энергий должны им поглощаться. А «Пионер-11» такого пробела в скоплении энергичных протонов и электронов не зафиксировал. Значит, вот еще одно доказательство: никакого Януса там нет!

Зато такой пробел, и очень четкий, наблюдается поближе к Сатурну — в 2,53 радиуса планеты. По-видимому, их здесь поглощает другой спутник, только вот трудно судить, какой: тот же, названный Скалой «Пионера», вычисленный Фаунтином и Ларсоном или истинный X спутник Сатурна, вообще неизвестный до сих пор.

Между тем еще одну новость принесли наземные наблюдения, которые группа французских ученых, возглавляемая Ж. Лакашо, выполняла на обсерватории Пик-дю-Миди, когда в 1979—1980 гг. Земля пересекала плоскость колец Сатурна. На орбите уже известной Дионы (380 000 км от Сатурна) астрономы заметили слабо светящееся (17-я звездная величина) неизвестное тело, которое опережало Диону приблизительно на

60°. Не прошло и четырех часов, как открытие подтвердили сотрудники Университета штата Аризона Х. Дж. Рейтсема, Б. Смит и С. Ларсон: на снимках, сделанных «Вояджером-1», были свидетельства в пользу нового небесного тела.

Диона и Диона В (так ее пока называли) своим местоположением напоминают астероидную группу Троянцев, которые водят аналогичный «хоровод» вокруг Солнца на орбите Юпитера. Следовательно, можно ожидать и существование Дионы С, бегущей по той же «общедионской» орбите, но на 60° позади первой из них. О том, что ее, кажется, дважды наблюдали, сообщения уже появлялись.

«Вояджер-1» значительно пополнил список «прислужников» Сатурна. Из новооткрытых два спутника (XIII и XIV) по существу, составляют единое целое с кольцом F. Это те самые «пастухи», своим тяготением не позволяющие частицам кольца разбежаться, о которых мы говорили выше.

Третий «новобранец» (XV) является самым близким к Сатурну. Его орбита проходит всего в 1000 км от края кольца A с его наружной стороны. Чтобы обойти планету, ему требуется лишь 14 ч 25 мин. Диаметр спутника около 30 км. Вероятно, присутствие этого спутника и определяет очертания внешней кромки ярких колец Сатурна.

«Вояджер-1», можно сказать, «забил последний гвоздь в гроб Януса». На его орбите, это теперь ясно, ничего нет. Почти на одной орбите в 2,51 радиуса Сатурна вокруг планеты ходит пара спутников (X и XI). Происходящее временами их видимое сближение, надо полагать, и ввело в заблуждение Дольфюса, посчитавшего два небесных тела за одно, причем это довольно мелкие тела: поперечники обоих составляют около 100 км. Первый из них и есть тот, с которым чуть было не столкнулся «Пионер-11».

Чудеса, припасенные в доме Сатурна, неисчерпаемы. Оказалось, что эти два спутника постепенно сближаются! Сперва полагали, что они должны вскоре, на глазах у астрономов, столкнуться. Но потом подсчитали и пришли к выводу: сблизившись, они просто обменяются моментами движения, внутренний замедлится, внешний ускорится, произойдет обмен орбит

и первый станет вторым. Очевидно, такой космический «контрданс» у них происходит каждые три года...

Пока же на вопрос, сколько у Сатурна спутников, можно дать лишь приблизительный ответ: очевидно, их насчитывается от двенадцати до пятнадцати.

Сатурняне заполняют анкету

Даже при беглом взгляде на расстояния спутников Сатурна от своей планеты (см. табл. 6) заметно: от поверхности Сатурна вплоть до орбиты Реи расстояния растут постепенно, без резких скачков. А вот между Реей и Титаном, а затем — между Гиперионом и Япетом и в особенности — между Япетом и Фебой расстояния увеличиваются скачкообразно, сразу в два с половиной — три с лишним раза. Феба, например, находится от своей планеты в 34 раза дальше, чем наша Луна — от своей.

Ближайший из сатурновых «прислужников» обегает его меньше чем за 15 часов, Титану на это нужно 16 суток, а Фебе — чуть ли не полтора земных года. Для сравнения: Меркурий завершает оборот вокруг Солнца за 88 дней, так что спутник был бы рекордсменом по бегу в нашей системе, не обгоняя его в полете вокруг своих планет наши старые знакомые Амальтея и Фобос. Их-то уж может обойти только «мелкота» — частицы внутреннего кольца Сатурна, которые ухитряются совершать полный оборот вокруг него за какие-нибудь 6 часов.

Да и медлительная Феба — не самый большой тихоход в нашем мире. Например, в свите Юпитера есть спутник Синопе, у которой на обход планеты уходит более двух лет.

Другой вопрос — орбитальные скорости. Поле тяготения огромного Сатурна очень сильно, так что оно в состоянии разгонять спутники до значительных скоростей. Даже далекая Феба делает каждую секунду 1,7 км, на зависть Луне, которая движется лишь со скоростью 1,02 км/с.

Впрочем, все это происходит в соответствии с III законом Кеплера и в принципе неожиданностью явиться не может. Совсем иное дело, если мы рассмотрим численные отношения, существующие между

периодами обращения спутников Сатурна. Этим еще в прошлом веке занялся Д'Арре, тот самый, что вместе с Галле открыл в 1846 г. планету Нептун. Он обнаружил любопытную закономерность: за то время, которое Мимасу нужно, чтобы завершить 494 полных оборота вокруг Сатурна, его сосед Энцелад делает 340, следующая за ним Тетис — 247 и, наконец, Диона — 170 оборотов. Налицо четкое соотношение: на каждый оборот Тетис приходится два оборота Мимаса; на каждый оборот Дионы — также два оборота Энцелада.

Тогда Д'Арре перешел от этих внутренних лун Сатурна к его внешним. Тут тоже оказалась некая закономерность, хотя и более приближенная, чем у первой четверки спутников. Каждым четырем оборотам Титана соответствуют примерно три оборота Гипериона; пяти оборотам Титана — один Япета, а пять оборотов Реи приблизительно эквивалентны одному обороту Гипериона.

Такая закономерность в природе случайно возникнуть, конечно, не могла. Спутники, движение которых связано подобными соотношениями, должны время от времени иметь в определенных точках пространства «свидания», чтобы раз за разом оказывать влияние друг на друга. Если бы распределение масс спутников вокруг Сатурна было равномерным (как это имеет место в случае его колец), результат такого взаимного воздействия был бы для каждого сходным. Но так как со спутниками дело обстоит иначе, последствия подобных возмущений в их движении постепенно накапливаются.

Изучению странностей в поведении спутников Сатурна посвятил чуть ли не всю свою жизнь пулковец и сын пулковца Герман Оттович Струве (1854—1920). Исследовав тайну отношений в этой семье, он вывел такие закономерности:

1. У двух ближайших к Сатурну спутников — Мимаса и Энцелада (еще более близкие спутники не были тогда открыты) наблюдается либрация, то есть периодическое маятникообразное колебание около их центров. Наибольшее сближение этой пары всегда происходит в определенной точке — там, где пересекаются между собой плоскость сатурнова экватора с плоскостью орбиты спутника. Точнее говоря, место их «свиданий»

колеблется вокруг этой точки с периодом в 71 год и хотя и может отклоняться в сторону вплоть до 49° , но непременно потом возвращается обратно снова и снова.

2. «Свидания» Дионы с Энцеладом всегда «назначаются» в пункте орбиты последнего, лежащем ближе всего к Сатурну или очень-очень недалеко от этого пункта.

3. Для Реи соседство огромного Титана не проходит незамеченным. Под влиянием его в десятки раз большей массы орбита Реи приобрела свою вытянутость, причем раз в 38 лет большую ось этой орбиты Титан отклоняет от среднего ее направления на 18° .

Крошечный Гиперион, разумеется, тоже не может избавиться от воздействия Титана. В его движении под влиянием огромного соседа также наблюдается либрация.

Вообще замечено, что вытянутость орбит спутников Сатурна не так уж велика. Твердо установлено, что сильно вытянута орбита Фебы, но ведь она и расположена от грозного Сатурна и Титана дальше всех. Именно это позволило Фебе так «вольничать». Обращаясь вокруг Сатурна, она то удаляется от планеты на 15 с лишним миллионов километров, то «всего» на 10 миллионов. Несколько вытянута также орбита Гипериона.

Поэтому возникло естественное предположение: все луны Сатурна вплоть до Япета — полноправные, «родные» члены его семьи, а Феба случайно залетела сюда и была «удочерена» хозяином системы позднее. В подтверждение этого говорит не только огромная удаленность Фебы от планеты, но и тот факт, что она вращается в обратном по сравнению с остальными спутниками направлении. Этим Феба даже напоминает скорее внешние луны Юпитера, чем других, более верных «прислужников» Сатурна.

Степень отклонения от «правильности» в поведении спутников — дело немаловажное; оно позволяет определять массы участников этого космического «хорова». Гравитационное воздействие, которое оказывает одно тело на другое, то есть их взаимное притяжение, как известно, зависит от расстояния, отделяющего их друг от друга, и от их масс. Поэтому с такой

страстью астрономы и измеряют орбиты спутников, стремясь добиться в этом деле все большей точности.

Можно заметить, что в сатурновой семье, по-видимому, мало таких карликов, которые характерны, например, для системы Юпитера, где Элара, Пасифе, Синопе, Лиситея, Карме, Ананке, Леда обладают диаметрами, явно не превышающими 100 км. Из спутников Сатурна лишь ближайший (XV) имеет поперечник 60 км, да пара близнецов, X и XI, с их вытянутой формой — чуть больше сотни километров.

Конечно, мы не намерены повторять ошибку даже столь великого человека, как Гюйгенс, заявляя, что все здесь уже открыто. Не исключено, что у Сатурна есть еще неизвестные нам спутники. На таких расстояниях как от нас, так и от светонесущего Солнца, они могут оставаться незамеченными и в лучшие из имеющихся приборов. Однако, с другой стороны, Сатурн расположен много дальше от роя астероидов, и по способности захвата планетой таких мелких тел уступает Юпитеру.

Всякому понятно, что размер тела — один из важных факторов, влияющих на его заметность. Титан с его диаметром, превышающим 5000 км, а также хотя и несколько меньшие, но более близкие к Сатурну Тетис и Рея представились бы тому, кто стал бы на них смотреть с поверхности этой планеты, не как точки, а как отчетливые полумесяцы с фазами, подобными лунным. Искорками на небе выглядели бы Мимас, Энцелад и Диона. Гиперион и Япет сатурнянин увидел бы как довольно яркие звездочки, а Фебу невооруженным глазом он вообще никогда не смог бы заметить. Даже если сложить видимую с Сатурна поверхность всех его спутников, она достигла бы только примерно трех четвертей поверхности Луны, а суммарная яркость их составляла бы малую долю нашего ночного светила в полнолуние. Зато зрелище одной за другой поднимающихся и исчезающих с небосклона лун, можно представить себе, было бы необыкновенно красивым...

А что откроется наблюдателю с одного из спутников Сатурна? Стоя на любом из них, можно увидеть величественную картину, центральной фигурой

которой будет, конечно, сама планета, значительно превосходящая своей видимой величиной Солнце.

С удаленнейшей от Сатурна Фебы планета выглядит так же, как у нас Луна в полнолуние. А уж посетителю ближайшего спутника Сатурн затмит чуть ли не полнеба: когда нижний край планеты касается здешнего горизонта, верхний простирается почти на половину расстояния до зенита.

Каждая единица площади Сатурна получает от далекого Солнца в 90 раз меньше света, чем наша Луна. Однако отражательная способность его поверхности раз в семь выше. Это несколько скрадывает их неравенство в расстоянии от центрального светила. В конце концов ближайшему спутнику достается от Сатурна примерно в 500 раз больше отраженного им солнечного света, чем к Земле приходит от Луны. Житель этого спутника в яркую сатурнову ночь мог бы читать газету без всяких затруднений.

Впрочем, так повезло бы не всякому жителю сатурновых спутников. Ведь все они (возможно, за исключением Фебы), по-видимому, вечно обращены к своей планете одной и той же стороной. Значит, в одном полушарии этих спутников Сатурн — постоянный осветитель небес, а в другом — его восхода дожидаться бесполезно. На всех этих спутниках Солнце обходит небо за столько же времени, сколько уходит на оборот спутника вокруг планеты, так что месяц и день здесь равны по длительности. Так, между восходом и заходом Солнца на Япете проходит около 40 наших суток. Стоя в том полушарии спутника, откуда Сатурна никогда не видно, мы можем наблюдать Солнце, правда, не как диск, а как пятнышко, впрочем, весьма яркое: в пять тысяч раз светлее, чем наша Луна в полнолуние.

Затмения Солнца на Мимасе или Энцеладе — тоже очень впечатляющая картина. Сатурн предстает темным кругом, затмившим звезды и окруженным светящимся кольцом полупрозрачных слоев своей атмосферы. Красивое зрелище возникает тем реже, чем более удаленный от планеты спутник мы выберем для своего посещения. Так, уже на Титане диск Сатурна выглядит довольно небольшим: он закрывает Солнце не чаще четырех-пяти раз в земной год.

Луна в лунном небе — странное дело, не правда ли? Но в системе Сатурна вы сможете любоваться этим постоянно. На любом из его спутников над головой вечно присутствуют одна-две, а то и целый десяток лун. Среди них главенствует, разумеется, оранжевый Титан — крупнейший и ярчайший из всех. Для гиперионца недалекий от него Титан (каких-нибудь 260 000 км), когда оба спутника встанут на прямую, соединяющую их с Сатурном, займет в небе вшестеро большую площадь, чем полная Луна в небе землянина. Правда, света даст он раз в шесть меньше, так как сам от Солнца очень уж далек.

Туристическая путевка на Япет, пожалуй, была бы более привлекательной, чем на другие спутники Сатурна. Судите сами: от ближайшего спутника и до Гипериона все они обращаются по орбитам, лежащим почти точно в плоскости сатурновых колец. Значит, кольца тут обычно предстают наблюдателю с ребра, в лучшем случае — едва видимой полоской.

А вот орбита Япета наклонена к плоскости колец на 15° . В здешнем небе за один его оборот мы увидим, по мере того, как Япет отходит от плоскости колец, все большую и большую часть их поверхности. Уйдя в одну сторону, кольца начинают обратное движение. Миновав фазу невидимости, они покажут уже свою другую сторону. И так далее — цикл за циклом. Конечно, то же самое мы видим и с Земли, но здесь, чтобы увидеть весь спектакль, надо иметь в запасе лет тридцать и обзавестись сильным телескопом, а на Япете подобное зрелище повторяется каждые 80 суток и отлично видно невооруженным глазом.

Впрочем, землянину, попавшему на один из спутников Сатурна, пожалуй, было бы не до того, чтобы изучать звездное небо. Судите сами: средней солидности мужчина, весящий на родной планете 70 кг, на Титане «потянул» бы около 7 кг, а на Фебе — примерно... 250 граммов!

Еще три века назад, когда Кассини только что открыл Япет, астроном вскоре заметил: стоит этому спутнику переместиться на запад от Сатурна, как он становится раз в шесть ярче, чем он был, пока находился к востоку от планеты. Япет, по-видимому, всегда смотрит на свою планету одной и той же стороной, мы же на Земле видим одно его полушарие, когда он

«по правую руку» от Сатурна, и другое — когда «по левую». Отсюда можно сделать вывод: один «бок» Япета почему-то отражает свет вшестеро сильнее, чем другой. Когда в августе 1981 г. в окрестности Япета прибыл «Вояджер-2», выяснилось, что темное полушарие этого спутника... темнее асфальта! Яркость же при вращении меняется у многих спутников, иной раз даже вдвое, но чтобы в шесть раз — это случай уникальный.

Было время, ученые предполагали еще одну «семейную тайну» Сатурна. Казалось, здесь наблюдается непонятная закономерность: если не считать непослушного Япета, то у остальных спутников средняя плотность вещества тем меньше, чем ближе их орбита проходит к центру Сатурна (о плотности Фебы, правда, можно только догадываться).

Даже система колец и поверхность самого Сатурна следовали этому правилу: если средняя плотность этой планеты близка к 0,7, то плотность ее поверхностных слоев составляет лишь что-то около 0,31 (за единицу принимается плотность воды). А ведь это как раз обратно тому, что наблюдается у галилеевых лун соседнего Юпитера. Там-то, наоборот, продвигаясь извне по направлению к самой планете, мы встречаемся со все большей плотностью (у Ио она вдвое выше, чем у Каллисто). В чем причина этого?

Что же касается связанного с плотностью вопроса — каков состав спутников, то в этом неясности еще больше. Очевидно, что те из них, которые обладают плотностью, не превышающей единицу, состоят в основном из обычного снега и замороженного метана. Доказать это пока столь же трудно, сколь и опровергнуть. Как бы там ни было, очень вероятно, что эти тела обладают большой пористостью, сравнимой, например, с вулканической пемзой. Ведь это — «камень» с плотностью всего около 0,3; он плавает на поверхности воды. С другой стороны, отражающая способность поверхности спутников куда выше, чем у пемзы. Может быть, она покрыта льдом?

Лед и снаружи, и внутри многих спутников, в особенности, принадлежащих наиболее удаленным от Солнца планетам, предполагают Г. Консолманы и Дж. Льюис. Правда, в глубинных недрах там может происходить распад радиоактивных веществ, выделяющий достаточно тепла, чтобы внутренний лед растаял.

Ученые подсчитали, что такой процесс может происходить только на тех спутниках, радиус которых больше 500 км. Следовательно, в семье Сатурна под эту категорию, очевидно, попадают Тетис, Рея, Япет и, конечно, Титан.

Максимум нагревания, согласно этой модели, должен наступить примерно через 2 миллиарда лет после образования небесного тела, и это время у них всех, надо полагать, было. Однако у тех спутников, что обладают много меньшим радиусом, подобный процесс должен был после достижения максимума пойти далеко вспять: они с тех пор уже успели остыть и полностью замерзнуть снова.

Каменистая часть спутника также подвержена расплавлению, как и лед, при достаточно высоких температурах, конечно. Процесс радиоактивного распада дает столько тепла, что его должно хватить, чтобы «подтаявшие» твердые породы были охвачены конвекционными течениями. Поэтому и на сравнительно небольших телах на поверхности можно будет встретить следы тектонических процессов. Еще надо учесть: поверхность спутников подвергается сублимации (испарению твердого тела без перехода в жидкую фазу). Именно такое испарение, по мнению специалистов, и объясняет тот факт, что на всех спутниках Сатурна, кроме Титана, отсутствует лед из метана.

...Ноябрь 1980 г. В царство Сатурна прибыл гость с Земли — «Вояджер-1». Межпланетная станция подошла к Титану очень близко — на 4500 км. Существование атмосферы у спутника подтвердилось, но она же, увы, помешала ученым разглядеть подробности рельефа поверхности.

Зато полной неожиданностью были данные спектроскопии в ультрафиолетовой и инфракрасной частях диапазона. Если прежние, выполнявшиеся с Земли, измерения говорили о том, что атмосфера Титана содержит в основном метан (и это даже намекало на возможность существования жизни!), то теперь там в изобилии обнаружен азот — молекулярный, атомарный и ионизованный. Может быть, там даже есть облака из жидкого азота. Метан же составляет не более 1% газовой оболочки спутника.

Красновато-коричневая окраска атмосферы Титана, замеченная при наблюдениях с Земли, очевидно, —

следствие того, что там есть в небольших количествах более сложные органические соединения, например, цианид водорода. Такие соединения возникают в ходе фотохимических реакций, происходящих в атмосфере.

Радиоволны, посылаемые «Вояджером-1» на Землю сквозь атмосферу Титана, сам характер их прохождения и рефракции, поведали немало о физических условиях, царящих там. Было установлено, что на высоте, соответствующей температуре 92 К, давление примерно в полтора раза превышает атмосферное давление на поверхности Земли.

«Вояджер-1» получил изображения лимба Титана, на которых видно, что над верхними его облаками существуют три слоя дымки: один примерно в 3000, другой — в 3400 км над поверхностью, а третий — еще точно не ясно. Впрочем, точная высота всех трех слоев может быть названа лишь когда будет определено местоположение самой твердой поверхности спутника.

«На глазах» у «Вояджера-1» произошло нечто вроде затмения — покрытие Солнца Титаном. Это позволило установить: в самых верхних слоях его атмосферы азот активно поглощает коротковолновую часть ультрафиолетового излучения Солнца. Характер поглощения говорит о том, что там температура близка к 200 К.

Вообще, очевидно, атмосфера Титана имеет определенное сходство с первичными, то есть древнейшими газовыми оболочками, какие имели Меркурий, Венера и Земля на заре своего существования. Только, в отличие от этих планет, на Титане столь низкие температуры, что атмосфера могла там сохраниться в своем первозданном виде. Значит, ее изучение поможет судить о прошлом планетных атмосфер.

Впрочем, не исключено, что одно время у Титана вообще не было никакой атмосферы. Дело вот в чем. Находясь от Сатурна в 26,2 его радиуса, «Вояджер-1» пересек магнитопаузу — границу, где поток заряженных частиц, называемый солнечным ветром, вступает в соприкосновение с магнитосферой планеты. Но затем «Вояджер-1» еще не раз вынужден был пересекать... ту же самую границу — ведь она подвержена значительным колебаниям и находится то ближе к Сатурну, то дальше от него.

Окончательно «Вояджер-1» преодолел магнитопаузу в 22,9 радиуса Сатурна. А это означает, что вся

орбита Титана, проходящая в 20,3 радиуса от планеты, целиком расположена внутри магнитосферы Сатурна. И если в прошлом Сатурн обладал меньшим магнитным полем, чем теперь (а это вполне возможно), и магнитосфера его была менее протяженной, то Титан тогда не был прикрыт ею от солнечного ветра. Порывы его заряженных частиц в таком случае вполне могли полностью сдувать газовый покров спутника.

Невиданными по точности были выполненные «Вояджером-1» измерения размера и формы спутников Сатурна. То, что он открыл существование двух спутников, обращающихся вокруг планеты по одной и той же орбите, читатель уже знает.

Некоторые ученые предполагают, что оба спутника некогда представляли собой единое тело. Отражательная способность у них одинаково высокая; возможно, оба состоят из льда, но о массе их и плотности пока с уверенностью судить невозможно.

Что же касается известных ранее Мимаса, Тетис, Дионы и Реи, то их параметры «Вояджер-1» позволил существенно уточнить. Очевидно, плотность всей четверки лежит в пределах между 1,0 и 1,4 г/см³, а ведь это близко к предполагаемой рядом специалистов плотности кометных ядер. Может быть, эти спутники сформировались из кометного материала вне системы Сатурна или же они слиплись из «излишков строительного материала» в ходе возникновения самой планеты?..

Фотографии этих спутников, полученные от «Вояджера-1», дали возможность рассмотреть их в немалых подробностях. На всех — множество кратеров, причем очертания их неправильны. Следовательно, поверхность спутников усеяна обломками пород, валунами, галечной россыпью, чего следует ожидать в случае, если тело подвергалось раздроблению, а потом «рана» затянулась.

Кора Мимаса, Тетис, Дионы и Реи довольно мощная. Об этом говорит тот факт, что кратеры имеют одинаковую окраску с окружающей их местностью. В противном случае удар, вызвавший к жизни кратер, был бы в состоянии проломить кору и обнажить лежащий под ней материал, имеющий иную окраску.

Мимас, очевидно, перенес в прошлом страшную катастрофу. Сфотографированный там «Вояджером-1»

с расстояния в 108 000 км огромный кратер занимает большую часть полушария этого спутника, а ведь весь его радиус едва ли превышает 200 км. Удар, вызвавший появление кратера, был такой силы, которой почти достаточно, чтобы раздробить Мимас на куски. Даже на обратной кратеру стороне «пострадавшего» доныне различимы черты рельефа, которые могли возникнуть под действием ударных волн, вызванных столкновением с крупным телом (рис. 22).

Да и Тетис с ее радиусом около 525 км тоже повидала немало на своем веку. На ее поверхности обнаружена круглая «оспина» с поперечником примерно 200 км. А на противоположной стороне спутника — крупный разлом, не нарушенный кратерами, значит, довольно молодой. Очевидно, происхождение этих следов тоже единое *).

На Дионе (радиус примерно 560 км) замечены районы с очень светлой окраской, вытянутые как хребты или борозды. Астрономы полагают, что их возникновение связано с тем же событием, которое породило на этом спутнике огромный «бассейн» с вытянутыми очертаниями. На обратной же стороне Дионы — область с малым количеством кратеров, и лежит она довольно точно напротив «бассейна». Вероятно, поверхность спутника здесь была преобразована ударными волнами, возникшими при падении тела, вызвавшего к жизни «бассейн».

Старее Реи в Солнечной системе нет, кажется, ни одного тела. К такому выводу пришли специалисты после анализа снимков, присланных «Вояджером-1». Вся поверхность этого спутника (его диаметр — около 765 км) усыпана кратерами, которые не только касаются друг друга, но нередко и лежат один внутри другого. Разбросаны они гораздо беспорядочнее, чем на Луне. Скопление «оспин» — следствие малой силы тяготения на Рее: оно на ее поверхности вдесятеро слабее, чем на Луне, и при образовании кратеров механические свойства коры Реи играют более важную

*) Еще больший кратер, диаметром до 500 км, сфотографирован на этом спутнике в августе 1981 г. «Вояджером-2». Глубина этого котлована (в середине его расположена высокая горка) достигает 15 км. В связи с этим высказывается предположение, что Тетис некогда столкнулась с очень крупным небесным телом.

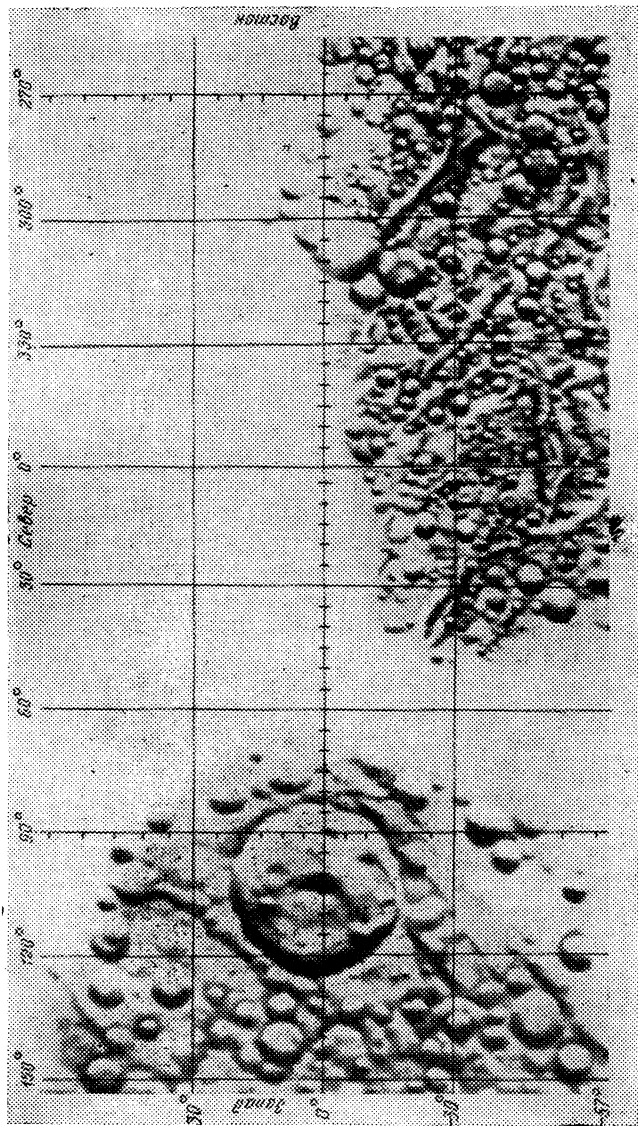


Рис. 22. На этом рисунке приводится одна из первых фотокарт спутников Сатурна. На карте Мимаса, полученной в масштабе 1:3750 000 (37,5 км в 1 см; здесь масштаб уменьшен и составляет около 60 км в 1 см), виден гигантский кратер диаметром примерно 130 км. Кратер занимает около трети поверхности спутника, его глубина достигает 10 км. Борозды имеют длину до 90 км, ширину 10 и глубину 1—2 км.

роль, чем сила тяготения. Вся история этого спутника поэтому осталась записанной у него на «лице».

Совсем другое дело — Энцелад (радиус — около 250 км), от которого «Вояджер-1» прошел в 202 600 км. На поверхности его кратеров вообще нет! Пришлось искать объяснение такой странности. Известно, что на каждые два оборота Энцелада вокруг Сатурна приходится точно один оборот Дионы. Поэтому тяготение Дионы периодически и равномерно растягивает тело Энцелада. Такое взаимодействие может приводить к полному стиранию следов прошлых событий с его поверхности. Эту гипотезу подтверждают и снимки Энцелада, сделанные в августе 1981 г. «Вояджером-2» с вдвое меньшего расстояния. На них можно разглядеть, что горные хребты, долины и кратеры на этом спутнике погребены под свежим слоем льда.

Значит, общим для некоторых спутников Юпитера и Сатурна является то, что лед там не очень твердый; он ведет себя прямо-таки как пластическая порода. В более теплом климате лед не теряет свойства текучести и способен заливать собою оспины и шрамы, наносимые падением небесных тел. На Тетис, Дионе, Рее и, может быть, на Мимасе лед очень твердый; он ведет себя как скальная порода.

Однако, какой бы лед ни встречался в недрах и на поверхности спутников Сатурна — водный ли, метан-ный или другой, еще более экзотический, в одном можно быть уверенным: в этот лед «вморожено» множество ответов на самые каверзные вопросы, которые задают себе ученые, занимающиеся историей возникновения и развития Солнечной системы.

Уран преподносит сюрпризы

Шекспировский уголок Вселенной

Мы уже рассказывали в «Прологе» к этой книге, как У. Гершель вдвое расширил наш «дом», открыв Уран. Впрочем, справедливости ради и не умаляя заслуг этого великого исследователя небес, нужно отдать должное и российскому ученому Андрею Ивановичу (Андерсу-Жану) Лекселю (1740—1784). Этот родившийся в Финляндии швед жил и работал в Петербурге, был членом здешней Академии наук и за свою короткую жизнь внес немалый вклад в астрономию.

Когда Гершель совершенно неожиданно для себя увидел в районе созвездия Близнецов какой-то маленький диск, он сперва решил, что это новая комета. Но края диска были четкими, а не размытыми, как это бывает у комет. Более того, тело двигалось очень медленно, значит, было далеко за орбитой Сатурна, а на таком расстоянии от Солнца комет еще никто тогда не замечал. Да и орбита оказалась почти круглой, а не эллиптической, как пристало бы комете...

Гершель не знал, что и предположить. Тогда слово взял Лексель и во всеуслышание заявил: «перед нами новая планета! Она лежит много дальше от Солнца, чем Сатурн...» Потрясенный мир не сразу привык к тому, что есть планеты и за пределами видимости для самого острого глаза.

...Прошло шесть лет с той ночи, как Гершель обнаружил тело, зачисленное Лекселем в число планет и получившее затем имя Урана. Все это время первооткрыватель не отводил от него взора, вооруженного лучшим по тогдашним меркам телескопом. Естественно, что именно он 11 января 1787 г. установил, что Уран

имеет два спутника. Впоследствии тот из них, что лежит дальше от планеты, получил наименование Оберон, а более близкий стал именоваться Титанией. Традиция черпать имена из античной мифологии здесь, казалось, нарушена: так зовут короля и королеву фей из светлой шекспировской сказки «Сон в летнюю ночь».

Однако Шекспир эти имена тоже не сам выдумал. Еще у Овидия упоминается, что Диану, чтимую латинянами как богиню Луны, звали также еще и Титанией. А Оберон — это французский вариант имени Альбериха — злого владыки гномов в средневековых германских и скандинавских легендах. (Его мы встречаем, в частности, в вагнеровских операх.)

Таким образом мир мифов и сказок был снова почтен и традиции не слишком пострадали. Имена новооткрытым телам дал Лассел, тот самый, что на два дня опоздал с открытием спутника Сатурна Гипериона. Однако в мире Урана его ждал другой, куда более славный и неожиданный реванш. Построив вблизи Ливерпуля собственную обсерваторию, он стал обозревать небеса при помощи отличного телескопа диаметром 61 см. 24 октября 1851 г. еще ближе к Урану, чем Титания и Оберон, Лассел заметил два неизвестных спутника, которым тут же дал названия: Ариэль и Умбриэль*). Первое из имен заимствовано из шекспировской «Бури» (так там зовут духа воздуха), а второе — у английского поэта XVIII в. А. Попа, описавшего в своей поэме «Похищенный локон» мрачного и горестного воздыхателя, носящего такое имя. Впрочем, Поп произвел имя Умбриэля от латинского слова «umbra», означающего «тень», что звучит довольно уместно в применении к спутнику далекой от Солнца планеты.

*) Имеются, правда, сведения, что еще 17 апреля 1801 г. У. Гершель наблюдал некое неизвестное тело, которое, весьма возможно, было Умбриэлем, но знаменитый астроном никакой заявки на это открытие не сделал. Лассел же впервые обнаружил Ариэль еще 27 сентября 1845 г., но последующие три года ушли на проверку этого факта. Сам Лассел признавал, что установлением орбиты Умбриэля и Ариэля, а тем самым и подтверждением того, что эти тела являются спутниками Урана, он в значительной мере обязан точнейшим наблюдениям, проведенным в 1847 г. Отто Струве в Пулковке.

Наконец, уже в наши времена — 15 февраля 1948 г. Койпер, наблюдая в 82-дюймовый (205 см) телескоп обсерватории Мак Дональд, открыл Миранду — пятый спутник Урана, лежащий ближе всех к этой планете. Мирандой зовут героиню шекспировской же «Бури», так что в дальних краях Солнечной системы теперь существует «шекспировский уголок».

Что бросается в глаза, так это необычная компактность и упорядоченность урановой системы по сравнению с системами соседей — Сатурна и Юпитера. Даже самый далекий — Оберон, и тот движется по орбите, отстоящей всего на 22,6 радиуса от планеты. В семье Сатурна примерно на таком расстоянии движется Диона, но ведь за ней еще лежат орбиты не менее пяти или шести спутников, в том числе Титана. Ближайшая же к Урану Миранда вообще не отходит от центра планеты дальше, чем на 130 000 км. Ни один из спутников Урана не позволяет себе покинуть плоскость его экватора. Может быть, Уран и обладает, подобно Юпитеру и Сатурну, далекими от него спутниками, но при нынешней наземной технике наблюдений их заметить пока еще никому не удалось.

Замечательным свойством всех спутников Урана является следующее: орбиты их круто наклонены к плоскости эклиптики (на 98°). Неожиданный факт, что Уран — «волчок, вращающийся лежа на боку», астрономы как раз и определили по такому странному характеру поведения спутников, как бы летающих то «вверх», то «вниз».

Размеры их определять нелегко. В самом деле, об этом можно судить, лишь пользуясь косвенными методами, главным образом фотометрией. Когда Уран занял в небе положение около созвездия Близнецов, появилась возможность сопоставить блеск его спутников с блеском этих звезд. Наблюдатели сделали вывод, что Ариэль имеет звездную величину $13^m,9$, Умбриэль $14^m,8$, Титания $14^m,0$, Оберон $14^m,1$, а Миранда вообще не поддавалась усилиям ученых. Впрочем, Титания и Оберон тоже «давали уклончивые ответы»: в зависимости от точки орбиты, где они находились, эти спутники становились то ярче, то темнее на 0,2 зв. величины.

Если это верно (а некоторые астрономы несогласны, считая, что светимость звезд, избранных для сопостав-

ления, была названа неточно), то самый яркий — Ариэль, выходит, крупнее всех, а это другими данными не подтверждается.

Можно задать и такой вопрос: откуда уверенность, что отражающая способность спутников такая же, как и самого Урана? Такое предположение астрономы делают, как говорится, не от хорошей жизни, отлично понимая, что вряд ли газовая оболочка планеты обязательно обладает тем же альбедо, что и «сработанная» из неизвестных нам, но, очевидно, твердых материалов оболочка ее спутников.

Впрочем, при всех колебаниях специалистов, можно утверждать, что размеры урановых спутников невелики. Крупнейшая из всех, Титания (опять имя пришлось по мерке!), обладает примерно тысячекилометровым диаметром; ее масса — около 0,06 массы нашей Луны. А наименьшая, Миранда, размером всего лишь с хороший астероид: ее диаметр что-то около 240 км, а масса не более одной тысячной доли лунной массы. Общая масса всех спутников Урана, взятых вместе, очевидно, не превышает одной восьмой массы нашей Луны. Конечно, все эти цифры, как и в еще большей мере данные о средней плотности таких далеких тел, во многом представляют собой лишь прикидки и догадки. Недаром же в двух солидных печатных трудах, вышедших с интервалом всего в несколько лет, диаметры Ариэля и Умбриэля указываются с разницей километров в сто; лишь в оценке более крупной Титании оба авторитета сходятся. А в опубликованной недавно НАСА справочной таблице в графах «диаметр» и «плотность» всех вообще спутников Урана стоит честный, но, увы, недоуменный прочерк.

Не зная ни точных размеров небесного тела, ни альбедо, ученые затрудняются судить о составе его поверхности. Но даже скудные данные о ее окраске позволяют отвергнуть мысль, что это нечто подобное лунной каменистой коре.

Крупные спутники Урана — Ариэль, Умбриэль, Оберон и Титания, вероятно имеют кору, мантию и ядро. Что же касается Миранды с ее радиусом, не достигающим и полутора ста километров, то там ни о какой дифференциации речи быть не может. Все это, очевидно, позволяет нам с определенной степенью уверенности судить об их внутреннем строении.

Богатая фантазия и та не даст нам представить себе живого «уранянина». Но если бы таковой существовал, то, взглянув на небо, он увидел бы четыре небольшие и быстро перемещающиеся луны. Из них лишь Ариэль, сравнительно близкий и довольно крупный, представлял бы собой не кружочек, а диск с размерами примерно в одну треть нашей земной Луны. Все они, по-видимому, обращены к Урану вечно одной и той же стороной. Из любой точки обращенного к Урану полушария он предстает очень крупным планом. Все же в зеленоватом свете Урана, несмотря на его огромные размеры, будет, может быть, и романтично (хоть сейчас ставь «Сон в летнюю ночь!»), но не очень-то светло: слишком далеко весь этот загадочный мир отстоит от Солнца.

Чело, увенчанное нимбом

10 марта 1977 г. над просторами Индийского океана парил необычный самолет, фюзеляж которого украшала надпись: «Летающая обсерватория им. Дж. Койпера, НАСА». На его борту молодые ученые из Корнеллского университета Дж. Л. Эллиот, Э. Данем и Д. Минк суеились вокруг 91-сантиметрового телескопа, предназначенного для того, чтобы, поднявшись выше мешающей астрономам основной массы атмосферы, наблюдать интересное астрономическое событие.

Дело в том, что четырьмя годами ранее английский ученый Г. Тейлор предсказал на этот день покрытие Ураном слабой звездочки SAO 158 687 в созвездии Весов. Не так уж часто планета встает точно между глазом земного наблюдателя и той или иной звездой, так что событие привлекло интерес специалистов во многих странах. Ведь экранирующее тело, в данном случае Уран, на некоторое время закрывает собой звезду и по этому времени можно судить о диаметре диска, размерах атмосферы планеты, ее температуре, составе, давлении.

Волнение на борту самолета нарастало. Перед самым долгожданным событием поступили сведения, что в вычислениях местоположения звезды допущена ошибка, Уран пройдет мимо нее и спектакль не состоится. Поэтому, когда незадолго до начала покрытия звезды диском Урана ее блеск неожиданно упал, посы-

пались объяснения самого разного свойства: «техника подвела», «облака виноваты» и т. д.

Подозрительным было то, что после первого спада блеска, продолжавшегося всего около 7 секунд, он возобновился. Что-то неизвестное заслонило звезду и на короткое время преградило путь ее лучам. Какой-то спутник Урана, слишком маленький, чтобы мы могли его видеть, и расположенный к планете еще ближе, чем даже Миранда? Если так, то это чистое совпадение, что спутник так аккуратно попал в точку, находящуюся в этот момент между звездой и Землей.

Чудо спада блеска звезды тем временем повторилось еще четыре раза, каждый длительностью по одной секунде, пока не произошло расчетное покрытие на предсказанные 25 минут. Пять маленьких спутников, и все норовят встать на пути лучей от звезды к Земле — это уж слишком!

Когда же звездочка вынырнула из-за спины Урана, все повторилось сначала: все пять «миганий» с теми же интервалами, как и перед покрытием, но в обратном порядке.

Первые объяснения были сверхосторожными: «симметричные во времени спады блеска звезды могут быть вызваны роем малых тел, находящихся на орбите вокруг Урана». В пользу такого предположения говорило то, что свет звезды ни разу полностью не исчезал, следовательно, затмевающий объект был не цельным, а «дробным».

Редкостное расположение небесных тел в тот день использовали, оставаясь на Земле, ученые Австралии, Китая, Южной Африки и Японии. Индийские астрофизики Дж. Бахтгачария и К. Купусвами в обсерватории Бангалур тоже наблюдали, как происходит покрытие Ураном звезды SAO 158 687. И они также заметили, как внезапно она исчезла из поля зрения еще в тот момент, когда сам Уран вовсе не должен был ее заслонять. «Затмение», по их сведениям, длилось 8,9 секунды.

Засев за вычисления, индийские ученые сделали вывод, что это, скорее всего, неизвестный, шестой спутник Урана, движущийся по круговой орбите с периодом обращения около 9,5 ч. Спутник движется, очевидно, в два с лишним раза ближе к поверхности

Урана, чем даже Миранда — всего в 53 000 км; диаметр тела, надо полагать, не превышает 70 км.

Однако многое тут вызвало сомнения: и слишком уж близкое расположение новичка к Урану, и маловероятность его прохождения точно между глазом наблюдателя и далекой звездой. По частям, а не полностью, проследили эти события в других обсерваториях. Но при сопоставлении, взятые вместе, эти наблюдения заставили исчезнуть все сомнения: Уран подобно Сатурну также является владельцем кольцеобразных украшений.

Это оказалось полной неожиданностью. Ведь еще сравнительно недавно, перед самым запуском «Пионера-11», НАСА ввела в его задание изучение «уникального явления — колец Сатурна». И в 1975 г. Саган, составляя обзор наших несомненных знаний о Солнечной системе, поставил вопрос так: «Только у Сатурна есть кольца. Почему?» И вдруг, даже без помощи космической техники, обнаруживается, что «уникум», вовсе не одинок.

— Уран владеет пятью кольцами. Но и спутников у него, как будто, пять, — приступили к рассуждениям теоретики. — Значит, аналогично системе Сатурна, здесь эти спутники своим воздействием удерживают кольца на их орбите вокруг Урана... Все это казалось достаточно складным, пока 10 апреля 1978 г. группа, руководимая тем же Эллиотом, вдохновившись первым успехом, не открыла еще четыре кольца Урана.

Сомнений в подлинности быть не могло: в тот же день, воспользовавшись тем, что система Урана покрыла собой две далекие звезды, американский астроном Э. Перссон, работавший в обсерватории Лас-Кампаньяс (Чили), независимо от группы Эллиота обнаружил существование двух или трех из тех же самых колец. Стало ясно, что все не так уж ясно и понятно: взаимодействие с известными нам спутниками никак не может нести ответственность за существование такого количества колец.

Но как это столько времени, чуть ли не два столетия, истекших со дня открытия самого Урана, никто из астрономов не набрел на эти кольца? Объясняется это тем, что кольца отражают всего 5% солнечного света — вдвое меньше, чем Луна.

Расстояние, пробегаемое лучом света от Солнца к Урану и затем, отразившись от него, к Земле, вчетверо больше, чем аналогичная дистанция, преодолеваемая светом между Солнцем, Сатурном и нашей планетой. Поэтому при прочих равных условиях система Урана должна выглядеть раз в шестнадцать тусклее, чем система Сатурна.

Но прочие условия тоже отнюдь не равные. Частицы, входящие в состав колец Урана, рассеяны в пространстве очень редко. Недаром же свет далекой звезды, проходя к нам сквозь эти кольца, все-таки был различим.

Далее, у Сатурна кольца широчайшие, а у Урана совсем узенькие. По одним сведениям ширина большинства из них не превышает 12 км, по другим — десять, а некоторые авторитеты называют даже всего 5 км. Лишь то из колец, которое затмило звезду в созвездии Весов на 7 секунд, может быть, достигает в ширину 85 км. В любом случае — никакого сравнения с кольцами Сатурна, у которых от края до края каждого насчитывается по 15—25 тысяч км. Общая ширина колец Урана — едва-едва 170 км, а у Сатурна они охватывают в сумме более 57 тысяч км. Зато пробелы между кольцами Урана относительно широкие, а у Сатурна — узкие.

Все это вместе взятое и приводит к тому, что «нимб» Урана в глазах землянина светится примерно в 3 миллиона раз слабее, чем нимб Сатурна, и заметить его было мудрено. Если бы не случай, поставивший Уран точно между нами и не слишком уж тусклой звездочкой в Весах, мы и по сей день о кольцах Урана, вероятно, и не подозревали бы.

Если кольца Сатурна, отражающие около 70% поступающего к ним света, состоят, видимо, из льда, то на «строительство» урановых, по всей видимости, пошел в основном камень.

Украшения Урана «окрещены» скромно: цифрами и греческими буквами — 6, 5, 4, альфа, бета, эта, гамма, дельта и эпсилон. (Они перечислены в порядке расположения от планеты...) Границы колец очерчены очень четко; надо полагать, силы тяготения удерживают входящие в них частицы от того, чтобы покинуть кольца и залететь в пробелы между ними. Если бы такой силы не было, они давно растянулись бы в один

сплошной диск; ведь каждая частица сталкивается с какой-нибудь другой в среднем раз в несколько часов, а всех частиц здесь насчитываются миллиарды.

Все «обручи» Урана лежат глубоко внутри предела Роша. Ближайшее к планете из колец Урана (шестое) обладает радиусом 41 980 км. У следующих за ним в приведенном выше списке колец радиусы составляют соответственно, 42 360; 42 663; 44 844; 45 799; 47 323; 47 746; 48 423 и, наконец, около 51 400 км. И лишь еще примерно в 80 000 км пролегает орбита ближайшего из спутников — Миранды.

Представляют ли собой кольца обломки еще одного, когда-то существовавшего «неосторожного» спутника, или же несобравшиеся воедино фрагменты первичной материи, — этого астрономы пока решить не могут.

Нельзя отрицать возможность, что справедливой окажется третья теория, принадлежащая С. К. Всехсвятскому. Это он еще в 1960 г. утверждал, что планеты-гиганты могут с такой силой выбрасывать в космос обломки своего вещества, что они обратно на их поверхность сразу не падают, но и из сферы притяжения в мировое пространство не уходят. При этом могут возникать кольца, состоящие из кометно-метеоритных масс, пепла и газа. Более того, — считает С. К. Всехсвятский, — без пополнения запасов вещества такие кольца давно потеряли бы свои частицы, рано или поздно растрачивающие свою энергию при столкновениях. А новые взрывы и извержения на планете могут возобновлять запас частиц в кольце.

За время, прошедшее со времен Галилея, Солнечная система казалась досконально изученной, и почти все коллеги гипотезу С. К. Всехсвятского встретили недоверчиво. Теперь же кольцо Урана «сказало свое веское слово» в ее подтверждение, и Астрономический совет Академии наук СССР присудил ее автору диплом за открытие.

Для объяснения загадки рождения и жизни колец выдвинуто еще несколько противоречащих друг другу гипотез. Согласно П. Голдрейху (Калифорнийский технологический институт) и С. Тремейну (Институт высших исследований в Принстоне), кольца существуют потому, что примерно в 500 км от каждого кольца, с внешней его стороны, есть один крошечный спутник, диаметром что-нибудь около 1 км, который

и «пасет» частицы при помощи своего гравитационного «кнута». Такое предположение казалось немного искусственным. Да и не всё оно объясняет: например, оно обходит молчанием вопрос, почему некоторые из колец имеют вытянутую, эллиптическую форму. Однако сведения о кольцах и спутниках Сатурна, присланные «Вояджером-1», заставили астрономов привыкнуть к идее «космических пастухов».

Открытие колец Урана вызвало всеобщее оживление. Одни специалисты устремили взгляды к небу, а другие — к архивам. Итальянский астроном Дж. Колombo (Падуанский университет) и его коллега из Гонолулу (Гавайи) У. Синтон заново просмотрели фотографии Урана, сделанные еще в 1970 г. прибором, поднятым на аэростате «Стратоскоп II». Там, на высоте 24 км (куда выше, чем самолет-обсерватория), где помехи, вызываемые атмосферой Земли, сведены к минимуму, 91-сантиметровый телескоп сделал очень четкие снимки Урана. Тогда, не подозревая о существовании колец у этой планеты, ученые их проглядели. А вот теперь поняли, что слабо различимые полосы, которые раньше были приняты за объекты, находящиеся на самом Уране, в действительности, являются проекцией колец на его поверхность.

Замечено, что кольца Урана отличаются немалыми странностями. Например, очень уж они тонки. Наконец, как уже упоминалось, есть свидетельства того, что одни кольца имеют форму правильной окружности, а другие, законам вопреки, эллиптичны, а это уж, казалось бы необъяснимо с точки зрения законов небесной механики. Чемпион необычности, — кольцо эпсилон, — не то сильно эллиплично, не то значительно наклонено к экватору Урана, а ни то, ни другое легких объяснений не имеет. Кроме того, его ширина в разных местах различна — от 20 до 100 км.

Если это кольцо сильно вытянуто, то известный факт большой сплюснутости Урана с полюсов и связанные с этим особенности тяготения должны были бы привести за какие-нибудь 20 лет к тому, что частицы, образующие кольцо эпсилон, разлетелись бы и образовали более широкое кольцо в форме круглого обруча. А будь это кольцо наклонено к экваториальной плоскости планеты, оно давно стало бы более толстым и симметричным относительно этого экватора.

Отражающая способность частиц, входящих в состав колец, необычно мала: даже у каменноугольной пыли (кажется, уж она-то чернее черного!) — и то этот показатель выше.

Такое скопление загадок породило еще одно объяснение, которому нельзя отказать в необычности: кольца Урана — газовые! По крайней мере, так считает астроном Т. ван Фландерн из Морской обсерватории США в Вашингтоне. Он предлагает следующий ход рассуждений.

Представим себе, что в каждом кольце Урана существует по спутнику, которые сильно «газят». Ничего запретного в этом нет: кометы под влиянием солнечной радиации обильно выделяют газы; Ио, как мы помним, погружена в облака водорода и натрия, «выбиваемых» с ее собственной поверхности бомбардировкой заряженных частиц; Титан, будучи не в состоянии удержать свой атмосферный водород, теряет его в полете вокруг Сатурна. Любой из этих механизмов может работать и в окрестностях Урана, не так ли?

Если так, то газы, выбрасываемые каждым из спутников, очень быстро (самое большее — за несколько лет) займут баранкообразную область на их орбитах и при каждом пролете спутника их запас здесь будет пополняться. Таким образом, снимаются все проблемы, связанные со странной динамикой колец.

Можно предположить, что тот спутник, который породил кольцо эпсилон, или крупнее других, или же содержит в своем теле большее количество летучих газов. Такое предположение, а также более длительный период обращения этого кольца вокруг Урана (около 8 часов) дает возможность его веществу больше шапсов распространиться вширь, прежде чем полностью улетучиться в космос. Среди прочего, здесь может лежать объяснение вызывающего недоумение факта: почему плотность вещества в этом кольце в момент открытия была одной, а каких-нибудь 8—9 месяцев спустя — совсем другой. Очевидно, количество газов на орбите за это время успело измениться.

Газовые кольца должны быть очень реденькими. Как же в этом случае они «ухитрились» затмить далекую звезду, что и привело к их открытию? К тому же яркость звезды, покрываемой каждым из колец,

убывала не постепенно, а резко, как бы закрытая твердым телом, или хотя бы скоплением твердых частиц, а не газом. Новая гипотеза отвечает: подобное возможно благодаря тому, что газовое облако может вызывать оптическое рассеяние, размывание света, нарушение его сфокусированности, вплоть до полного исчезновения из поля видимости наблюдателя.

Например, тень Земли, лежащаяся на Луну в момент лунного затмения, имеет радиус на добрую сотню километров больше, чем твердое тело самой нашей планеты. А виновата в том атмосфера Земли: несмотря на свое газовое естество, она может тоже полностью перекрывать путь солнечным лучам.

Но где же эти спутники, якобы породившие девять колец, а сами предпочитающие оставаться в тени? У ван Фландерна есть ответ и на такой вопрос. Они слишком малы и близки к Урану, чтобы мы могли их наблюдать оптическими методами. Вот ведь даже Миранду с ее диаметром в две-три сотни километров и орбитой, в два с лишним раза более удаленной от планеты, чем внешнее кольцо, мы наблюдаем лишь с огромным трудом.

Но окончательно убедить своих оппонентов ван Фландерн все же не может. Он и сам считает свою гипотезу до некоторой степени экзотичной. Нельзя же «призывать» себе на помощь целых девять неизвестных нам спутников Урана, чтобы они ответили сразу на все недоуменные вопросы о его кольцах.

А тут еще в конце 1978 г. на трибуну конференции Американского астрономического общества в Пасадене поднимаются научные сотрудники Калифорнийского технологического института К. Метьюз и Г. Нойгебауэр и предъявляют присутствующим первые непосредственно полученные фотографии колец Урана. Это газовых-то, якобы принципиально невидимых и не поддающихся фотографированию!

Пока же, кто бы ни был прав в конкретном вопросе о составе колец, наблюдение их позволило установить интересные факты. Оказалось, что эксцентричное кольцо эпсилон, имеющее неправильную форму, вследствие этого обгоняет в своем беге вокруг Урана вращение планеты вокруг ее собственной оси. Обнаружившаяся большая эллиптичность и переменная ширина кольца помогли Голдрейху определить смещение оси

вращения этого кольца: она составляет почти $1^{\circ},4$ в сутки. А отсюда уже получается, что период вращения самого Урана вокруг оси равен 15 часам. А ведь до сих пор специалисты называли самые разные величины — от 11 до 24 часов.

Кстати, появилась возможность сделать и такую оценку: масса кольца эпсилон, по всей видимости, примерно равна массе такого спутника, поперечник которого близок к 20 км. Вообще же все кольца, очевидно, состоят из неравномерно разбросанных в них каменных глыб, каждая из которых имеет поперечник не более 4—6 км. Еще одна особенность бросается в глаза, когда сравниваешь кольца Сатурна и Урана. Относительное расстояние, отделяющее внешний край обоих «обручей» от центра их планеты, у обоих почти одинаково: оно составляет примерно два радиуса соответствующей планеты.

Загадок кольца Урана подкинули ученым немало. Факт остается фактом: совсем недавно астрономы ломали голову над вопросом, почему у Сатурна кольца, а теперь пытаются объяснить, почему это их нет у той или иной другой планеты... Может быть, некоторые из таких загадок будут решены, когда в январе 1986 г. в окрестности Урана прибудет «Вояджер-2».

Странная пара — Нептун и Плутон

Спустя всего три недели после открытия Нептуна Лассел обнаружил, что у него есть спутник. Раздумье крестных отцов было недолгим — раз Нептун у римлян «заведовал» водной стихией, то этот спутник стал зваться Тритоном (так называли сыновей этого божества). Древние мифы поселили морских владык в один золотой дворец на дне зеленого моря. Любопытно отметить: первый по времени открытия и наибольший из спутников Сатурна — Титан, первая и наибольшая прислужница Урана — Титания и это же место у Нептуна занимает Тритон. Сложилось это созвучие случайно, но для запоминания, пожалуй, весьма удобно.

Что поражает нас у Тритона, так это размеры. Светимость его составляет величину незначительную — всего около 13,6 звездной величины. Но это большая яркость, чем у Титании и Оберона, а ведь Тритон раза в полтора дальше от Земли, чем они, и солнечного света он получает вдвое меньше. Отсюда сразу последовало предположение, что Тритон должен быть велик.

Так оно и оказалось. Диаметр этого спутника явно намного превышает 4000 км, что больше поперечника нашей Луны. Во всей Солнечной системе из спутников по размерам его превосходят только Ганимед, Титан и Каллисто.

В астрономических кругах открытие было признано очень важным. Действительно, это был первый случай обнаружения крупного спутника чуть ли не за двести лет, истекших после открытия Титана. Да и вообще это был всего седьмой известный науке спутник в Солнечной системе — ведь до открытия куда более близких к Земле Фобоса и Деймоса еще оставалось добрых три десятилетия. Поэтому к Тритону

было привлечено внимание многих специалистов, долго не ослабевавшее. Среди тех, кто внес большой вклад в изучение Тритона уже в самом начале нашего века, нельзя не назвать члена-корр. АН СССР С. К. Костинского, который получил отличные (учитывая расстояния, конечно) фотографии этого небесного тела и первым определил, что блеск его должен быть не слабее 13-й звездной величины. Так или почти так считается и по сей день: нынешние астрономы числят Тритон среди объектов примерно четырнадцатой звездной величины.

Трудами ученых разных стран «досье» Тритона медленно, но верно, пополнялось. Стало ясно, что орбита его представляет собой почти идеальную окружность с радиусом около 355 000 км. Хотя длина пути Тритона вокруг Нептуна почти такая же, как у Луны вокруг нашей планеты, он обегает свою планету вчетверо быстрее. Почему — это ясно: масса Нептуна в 17 с лишним раз больше земной, она и ускоряет стремление спутника.

Все крупные спутники Юпитера и Сатурна обращаются в плоскости экватора своей планеты. А вот Тритон (как и Луна) не подчиняется такому правилу: его орбита на 20° наклонена к экватору Нептуна. И направление движения Тритона — противоположное тому, в котором вращается «хозяин». Помимо Тритона, во всей Солнечной системе движутся «вспять» только четыре внешних спутника Юпитера и сатурнова Феба; но ведь все они крошки по сравнению с ним.

Фантастический нептунянин, задрав голову, увидел бы в небе Тритон раза в полтора крупнее, чем мы свою Луну. Тритон — единственный во всей Солнечной системе спутник, который со своей планеты выглядит крупнее, чем Луна представляется человеку. Крупнее, но отнюдь не ярче: даже, если Тритон покрыт льдом, хорошо отражающим свет, все равно, Солнце отсюда так далеко, что нептунскую ночь он освещает раз в 150 тусклее, чем Луна земную.

И еще в одном Тритон уступает Луне (но только ей): в массе относительно своего центрального тела. Луна, как известно, «весит» в 81 раз меньше, чем Земля, а Тритон — в 750 раз меньше, чем Нептун. Но ведь даже гигант Титан уступает своему владыке

Сатурну в массе в 4 тысячи раз, а Ганимед Юпитеру больше чем в 12 тысяч. Следовательно, Тритон вместе с Луной занимает по этому виду «соревнований» одно из ведущих мест, да еще с большим отрывом от соперников.

Впрочем, сравнение со своей планетой — это еще не все. Интересно было бы знать массу спутника, но на таком огромном расстоянии это осуществить нелегко. В 1931 г. американец Никольсон (тот, кто открыл четыре спутника Юпитера) совместно с голландцем А. ван Мааненом (1884—1946) получил при помощи 60-дюймового (150 см) телескопа обсерватории Маунт Вилсон фотографии Тритона, которые дали им возможность утверждать: масса этого спутника по крайней мере втрое больше, чем у Луны. Да и плотностью своей Тритон тоже мог бы похвастаться. Если верны выводы, которые сделал в 1943 г. американец Х. Л. Олден, проанализировав наблюдения этого спутника за ряд лет, то средняя плотность Тритона должна много превышать 4 г/см^3 . Но это выглядит странно: плотность крупных его собратьев — Титана, Ганимеда, Каллисто менее 2 г/см^3 (ведь они в значительной мере состоят из льда). И даже подобные Луне каменные Ио и Европа обладают плотностью менее $3,5 \text{ г/см}^3$. Наконец, центральное для Тритона тело — Нептун, как и другие гигантские планеты, очень «легковесен» — его средняя плотность лишь около $1,7 \text{ г/см}^3$. Такое несогласие Тритона как с его «хозяином», так и с братьями-спутниками объяснить трудно. И некоторые астрономы просто предлагают подождать, не искать объяснения недостоверным фактам: диаметр и масса тела определены еще, по их мнению, настолько неуверенно, что о плотности говорить просто рано.

Не так давно У. К. Хартман (США) пересчитал размеры Тритона. Диаметр его «вырос» до 6000 км, и Тритон по размерам сразу вышел на первое место среди всех спутников. Но тогда, если верить этой оценке, средняя плотность его будет всего $1,2 \text{ г/см}^3$. Даже для ледяных его коллег это маловато; с такой рыхлой структурой Тритон вообще следовало бы поместить в отдельную категорию, где кроме него никого больше нет. Так это, или нет, но все говорит о недостатке наших знаний о Тритоне.

Что несомненно, так это непостоянство яркости Тритона на небосводе. Она то немного увеличивается, то уменьшается, причем закономерно. Это, естественно, зависит от того, какой стороной он к нам поворачивается. Астрономы установили: к Нептуну Тритон вечно обращен одним и тем же «боком».

По мнению Койпера, у Тритона может быть своя атмосфера, причем сравнительно плотная. Что ж, такое крупное тело, действительно, в состоянии удерживать у себя газовую оболочку. Да и автору гипотезы верить можно: он же доказал существование атмосферы на Титане... Но и здесь нужна некоторая осторожность...

Впрочем, в 1978 г. на конференции Американского астрономического союза выступил ученый с Гавайских островов Д. Крукшенк и сообщил о наблюдениях, выполненных при помощи 4-метрового телескопа обсерватории Китт-Пик. Полученный при этом спектр говорит, что на Тритоне есть метан. Только вот неясно — в газовом ли он состоянии, то есть составляет атмосферу, или же в замороженном, и тогда лежит на поверхности спутника. Кажется, в последнее время весы склоняются в пользу газа; верхний же слой твердого тела Тритона, очевидно, каменный. Итак, мы встречаем здесь атмосферу из болотного газа?

Но побывать мысленно на поверхности Тритона все это читателю, пожалуй, не помешает. Тритонская ночь довольно мрачная: хотя видимая площадь Нептуна в небе в 235 раз превышает наблюдаемую с Земли поверхность Луны и несмотря на сильную отражательную способность планеты, даже в «полнонептуние» света на Тритон поступает едва половина того, что у нас в полнолуние. Солнце на таком расстоянии кажется просто яркой точкой.

Едва Лассел сообщил миру об открытии Тритона, как начались поиски еще одного спутника Нептуна. Конечно, сам Лассел был впереди всех искателей. В 1850 г. ему, казалось, удалось обнаружить некое подозрительное тело, но доказательства были недостаточны. Сорок лет спустя Шеберле, который уступил свою очередь у телескопа Барнарду, когда тот открыл Амальтею, наблюдал нечто, напоминающее неизвестный спутник Нептуна, но открытие не подтвердилось. У. Х. Кристи на обсерватории Маунт Вилсон

провел очень систематические поиски, но и его ждала неудача. Впрочем, как говорят, даже бесполезный труд приносит с собой полезный опыт: было доказано, что если второй спутник Нептуна и существует, его яркость не может превышать 18,5 звездной величины.

Словом, между знакомством человечества с Тритоном и открытием N2 прошло более столетия. 1 мая 1949 г. Койпер, за год перед тем «подаривший» людям Миранду, заметил на двух фотопластинках, снятых на обсерватории Мак Дональд, какое-то слабенькое пятнышко 19,5 звездной величины. Интервал времени между обоими снимками — всего минут двадцать, но такому опытному астроному и этого было достаточно, чтобы установить: тело перемещается относительно неподвижных звезд вместе с Нептуном.

В ближайшие недели, прежде чем Нептун исчез за горизонтом, было сделано еще несколько снимков, и вывод подтвердился — спутник есть! Нарекли его Нерейдой. В мифологии, правда, это не имя собственное — так древние греки называли всех морских нимф, что в затишье прядут на золотой прялке и катаются на спине дельфина или тритона, а в бурю помогают морякам. Все же название кажется удачным — под боком у Нептуна, рядом с Тритоном, Нерейде самое место.

Трудно найти более несходную пару, чем Тритон и Нерейда... Начнем с орбиты. У Тритона она, как мы уже знаем, почти правильный круг. Нерейда же то подходит к Нептуну на 1 390 000, то убегает от него на 9 734 000 км. В семь раз отличается расстояние ближайшей точки от самой удаленной! Такой эксцентricности в поведении не показывает ни один другой спутник во всей Солнечной системе.

Направление, в котором Нерейда обращается вокруг Нептуна, прямое; в этом она тоже «не согласна» с Тритоном. Наклон ее орбиты к плоскости экватора планеты составляет 28°. Она обегает Нептун почти за полный земной год, а ведь Тритону для этого нужно меньше недели. Когда Нерейда находится от Нептуна в наибольшем удалении, ее орбитальная скорость составляет всего 840 м/с (именно метров, хотя мы в астрономии так от них отвыкли). Это на одну пя-

тую медленнее, чем скорость нашей Луны, и, тем самым, Нереида становится чемпионкой Солнечной системы по медлительности.

Точные размеры Нереиды определить трудно. Обычно называют диаметр что-то между 240 и 300 км, то есть раз в 20 меньший, чем у Тритона. Если глядеть на нее с поверхности Нептуна, то она представится всего лишь звездочкой, притом не слишком яркой. Даже в наибольшем приближении к планете Нереида светится примерно как Полярная звезда. А при максимальном удалении только очень глазастый нептунянин мог бы разглядеть ее невооруженным оком.

Зато Нептун с поверхности Нереиды при ее наибольшем приближении будет выглядеть весьма внушительно: он займет видимую площадь раз в пятнадцать бóльшую, чем у нас Луна. Правда, Нереиде это даст лишь одну восьмую того света, что озаряет Землю в полнолуние — слишком уж далеко отсюда Солнце. Что же говорить о том времени, когда через полгода Нереида окажется в дальней точке своей орбиты. Тогда видимая площадь Нептуна будет втрое, а яркость — раз в 350 меньше лунной.

Судя по невероятно вытянутой орбите, ее наклону, малым размерам тела, Нереида — пленница, а не родственница Нептуна, захваченный астероид, подобный Фебе или мелким спутникам Юпитера. Как она, одна-одинешенька, сюда попала? Но ведь на таком удалении от нас, весьма вероятно, могут существовать еще многие другие, ведущие пока вольную жизнь малые планетки, о существовании которых мы пока и не подозреваем. Просто рядом с Нептуном поиски были более интенсивными, чем в «пустом» пространстве, так что какие-нибудь родственники Нереиды, еще находящиеся на свободе, не «прирученные» планетой, могут быть здесь открыты в любой день.

Не исключено также, что у Нептуна будет найдено кольцо. Ведь еще до открытия Тритона, в 1846 г. тот же Лассел наблюдал нечто подобное вблизи диска этой планеты. Несколько месяцев спустя о том же сообщал директор Кембриджской обсерватории Дж. Чаллис (1803—1882), но объект, если он существовал, был

таким тусклым, что больше его никому заметить так и не удалось *).

Тем временем «на краю света» открывались все новые чудеса. Как мы уже говорили в «Прологе», в 1930 г. был открыт Плутон. Но радость открытия смешивалась с недоумением. Оказалось, что Плутон — совсем не та планета, которую предсказывали Лоуэлл и Пикеринг! Орбиту Плутона никак не удавалось подогнать под их вычисления. Она проходила в среднем всего в 5 900 000 000 км от Солнца, то есть на полмиллиарда километров ближе, чем должно быть по Лоуэллу, и почти на 2 миллиарда километров ближе, чем по Пикерингу.

Эта орбита оказалась невероятно сильно наклоненной — на $17^{\circ},2$ — ни у одной известной планеты ничего подобного не было. Мало того, орбита обладает необычной вытянутостью. Потому и получается, что Плутон то проходит всего в 4 400 000 000 км от светила, то удаляется от него на 7 400 000 000 км. В результате складывается совсем уж парадоксальное положение.

...Спросите образованного человека, но не специалиста в небесных делах: какая планета является наиболее удаленной от Солнца. Он, скорее всего, ответит: разумеется, Плутон. И будет прав. Но не всегда, а лишь в течение двухсот двадцати восьми земных лет из тех каждых двухсот сорока восьми, за которые эта планета делает один полный оборот вокруг светила. Остальные 20 лет Плутону на смену приходит Нептун.

Как раз в дни, когда писались эти строки, в 1979 г. такая «смена караула» и произошла; на два десятка лет стражем далеких окраин Солнечной системы стал Нептун. 23 января 1979 г. эти планеты оказались на равном расстоянии от Солнца — в 30,3 астрономической единицы, а затем как бы поменялись местами. На схемах это выглядит как пересечение орбит. На самом же деле оно не существует и одна планета проходит в миллионах километров от другой.

*) В июне 1981 г. произошло покрытие звезды Нептуном. Группа астрономов Аризонского университета, возглавляемая У. Хаббардом, заметила при этом, что свет звезды прервался на 8 с. Возможно, что звезда была заслонена неизвестным спутником Нептуна (N III), диаметр которого близок к 160 км.

К сентябрю 1989 г. Плутон достигнет своего перигелия (ближайшей к Солнцу точки) и начнет удаляться от светила. 15 марта 1999 г. Плутон и Нептун вернутся на свои более привычные места, и самой далекой планетой вновь станет Плутон.

Весь этот «контрданс» небесных тел, конечно же, неспроста. Чтобы в нем разобраться, желательно было бы знать размеры Плутона. Сперва полагали, что он примерно с Землю или даже побольше. Но в 1950 г. Койпер установил, что его размеры много меньше, и диаметр Плутона не превышает 5800 км. Лет через 25 — новость: Плутон отражает свет так, как будто он покрыт замороженным болотным газом. А если есть метановый иней, то тело планеты холодное, и в случае, если Плутон весь состоит из метана, плотность его должна быть меньше единицы. К концу 70-х годов ученые пришли к выводу, что Плутон — совсем небольшое тело, меньше даже, чем наша Луна, и хотя в 1980 г. поступили сведения, что его диаметр составляет 4000 км (на 500 км больше лунного), по массе он в несколько раз уступает Луне. Словом, по размерам, по орбите и другим характеристикам — скорее не планета, а... спутник.

Вот зачем мы в книге, посвященной только спутникам, стали вдруг так подробно рассказывать о самостоятельном небесном теле: Плутон представляет собой как бы неполноценную планету, во многом очень напоминающую спутник.

В пользу такого предположения говорят и странности в периоде вращения Плутона вокруг собственной оси. На полный оборот у него уходит 6 суток 9 часов 17 минут, а это слишком много для столь небольшого тела, так что и скорость вращения выдает его с головой как самозванца в семье планет.

Еще одно свидетельство: все четыре планеты, лежащие непосредственно за Марсом и за поясом астероидов, — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — гигантскими размерами, огромной массой, общим газожидким строением решительно отличаются от внутренних — Меркурия, Венеры, Земли и Марса. А вот Плутон, хотя и расположен во внешней части Солнечной системы, всеми этими параметрами, как кажется, схож с меньшими и твердотельными околосолнечными планетами, а не со своими соседями.

Далекие от Солнца самостоятельные небесные тела такими быть не должны. Значит, спутник? Но чей же? На такой вопрос отвечает следующий факт. На каждые три полных оборота Нептуна вокруг Солнца приходится точно два таких же оборота Плутона. Значит, не исключено, что Плутон был некогда «приручен» Нептуном и в отдаленнейшие времена морской владыка имел, помимо Тритона и Нереиды, еще одного прислужника, которому затем удалось стать более независимым, но следы прежнего рабства в его биографии все же остались.

Одним из первых, кому пришлось на ум увидеть в Плутоне «беглого» прислужника Нептуна, был японский астроном, директор Квасанской обсерватории в Киото И. Ямамото (1889—1959). Он предложил такой сценарий этой драмы. Некогда Нептун обращался вокруг Солнца на расстоянии, более подобающем девятой планете (включая и «несостоявшуюся» — пояс астероидов). Затем из глубин Вселенной появился пришелец — некое крупное небесное тело. Оно вторглось в царство Нептуна и своим тяготением отняло у него один из спутников. Совсем увести добычу с собой оно не могло, но с околонептунной орбиты сорвать спутник ему оказалось под силу. Пришелец на границе Солнечной системы бросил свою жертву, которая перестав быть спутником, с тех пор и стала независимой планетой. А Нептун под влиянием потери тоже изменил свою орбиту, приблизившись к Солнцу.

Другую сторону аналогичной гипотезы разработал в 1936 г. английский астрофизик Р. А. Литлтон. Он задумался над причиной очень медленного вращения Плутона вокруг его собственной оси. Действительно, шесть с небольшим суток для такого мелкого тела, да еще лежащего столь далеко от тормозящего влияния Солнца, — это уж слишком. Нептун — вот кто виноват в подобной странности. Если у него есть такой массивный спутник, как Тритон, то что могло помешать Нептуну в прошлом временно обладать и еще одним, не более крупным, а именно Плутоном? Притяжение Нептуна, «мстящего» Плутону за его бегство, могло так замедлить вращение его бывшего спутника, да заодно еще и заставить его вечно глядеть на покинутого хозяина одной и той же стороной.

Если так, то период вращения Плутона вокруг оси должен был совпадать с периодом обращения его вокруг Нептуна. Обходя планету за 6,39 суток, Плутон находился в 375 000 км от нее. Но ведь и нынешний, более верный прислужник Нептуна, Тритон, тоже не уходит от планеты в среднем далее чем на 355 000 км.

Явление редкостное: у Нептуна в прошлом было два очень крупных спутника, причем почти на одинаковых по протяженности орбитах. Близкие друг к другу большие тела должны были тяготением влиять одно на другое, приводя к нарушению стабильности всей системы. Тут, согласно такой гипотезе, и могло произойти что-то не очень уж невероятное, чтобы равновесие нарушилось. Плутон в результате катастрофы «вылетел» на свою нынешнюю орбиту, а орбита Тритона так наклонилась, что он стал фактически вращаться в обратную сторону.

Предположение интересное, но оно порождает новые загадки. Что за катастрофа привела к нарушению сложившейся системы? Почему Плутон вышел на орбиту, так сильно удаленную от Нептуна? И что заставило Тритон ходить по такой, во всем остальном искаженной, но почти круговой орбите? Все эти вопросы висели в воздухе.

Обе гипотезы, хотя и несколько умозрительные, но приемлемые. Но есть им и альтернативы. Так, немецкий астроном Э. Мёдлов предполагает, что за орбитой Нептуна спряталось от наших глаз еще одно кольцо астероидов, вполне сходное с тем, что лежит между Марсом и Юпитером. И тайна Плутона заключается просто в том, что он — всего лишь член этого огромного скопления в основном мелких тел — один из многих, но более крупный, чем остальные, почему и был, в отличие от них, астрономами замечен. Есть же такая малая планетка, астероид Эрот (Эрос), орбита которого частично также лежит внутри орбиты Марса, и его вполне можно рассматривать как члена известного нам астероидного кольца. Есть также астероиды, пересекающие орбиты Марса и Земли... И Тритон когда-то, возможно, был тоже одним из тел, входящих в гипотетическое внешнее кольцо астероидов, а затем его захватил Нептун и превратил в своего спутника. Кстати, это объяснило бы и загадку обратного движения Тритона.

Конечно, все это лишь гипотезы. Для того чтобы приобрести титул теории, им недостает еще многого. В первую очередь — наблюдательных фактов. А они-то в таком удалении от Земли достаются нелегко.

А тем временем произошло событие, которое, казалось бы, все разъяснило. 22 июня 1978 г. Дж. У. Кристи из Морской обсерватории в Вашингтоне решил просмотреть пластинки со снимками Плутона, сделанными за месяц — другой до этого при помощи полутораметрового телескопа во Флагстаффе (штат Аризона). Цель фотографирования была довольно рутинной — уточнить орбиту этой все еще слабо изученной планеты.

Тут Кристи бросилось в глаза, что тело Плутона выглядит как-то странно: оно, вроде бы, вытянуто в одну сторону, примерно с севера на юг. Гора? Но даже помыслить невозможно о такой гигантской вершине, чтобы она была заметна за миллиарды километров, пускай и в наилучший телескоп. Кристи решил: спутник!

Коллега первооткрывателя (хотя открытие еще нуждалось в подтверждении) Р. С. Харрингтон занялся вычислениями. Его вывод был тот же. Опираясь на определение времени, за которое «выступ», исчезнув с одной стороны Плутона, появляется с другой, он подсчитал период обращения новичка «1978 P11» вокруг его планеты. Оказалось 6 суток 9 часов 17 минут, то есть то же самое время, которое тратит Плутон, чтобы обернуться вокруг собственной оси. Значит, луна Плутона постоянно «висит» над одной и той же точкой поверхности планеты.

Прослышав об открытии, Дж. А. Грем на обсерватории Серро-Тололо (Чили) немедленно «изловил» новичка в ясном небе южного полушария. А Кристи тем временем обнаружил его... в архиве — на снимках той же Флагстаффской обсерватории, сделанных лет за восемь и за тринадцать до того. Этот слабый выступ до него никто не разглядел. Важно знать, где и что ищешь, вот в чем дело!

Первооткрыватель предложил для спутника имя Харон... На берегах Стикса, реки забвения и скорби, поселила фантазия древних греков перевозчика Харона. Он в своей лодчонке доставлял тени умерших в царство Плутона, так что предложение выглядело

вполне уместным. Единственный недостаток — сходство с названием незадолго до того открытого астероида Хирона. Но мифический Хирон был не лодочником, а кентавром, и греки их не путали. Впрочем, последнее слово, как всегда, за Международным астрономическим союзом; его специальная комиссия обладает правом окончательно утверждать названия новооткрытых небесных тел.

В сентябре 1980 г. французские астрономы Д. Бонно и Р. Фуа получили серию фотографий, на которых изображения можно выделить, используя ЭВМ. В результате было установлено, что радиус орбиты Харона равен 19 000 км. Диаметр Плутона получился равным примерно 4000 км, а диаметр Харона около 2000 км.

Очень близко поселился «перевозчик теней» к самому владыке загробного мира. Даже Луна с Землей представляют собой менее компактную систему. Да и отношения масс у этих двух тел очень необычны. В случае, если их средняя плотность одинакова (около $0,4 \text{ г/см}^3$), масса Плутона составляет $1/500$, а Харона — около $1/4000$ массы Земли. Тем самым Харон становится массивнейшей луной в Солнечной системе, если считать в отношении к массе ее центрального тела. (Напомним, что масса нашей Луны составляет всего 1,2% массы Земли.)

Поэтому некоторые специалисты даже предлагают считать эту систему парной, двойной планетой «Плутон — Харон», известны же двойные звезды, тоже обращающиеся вокруг общего центра масс, так что такое предложение звучит логично.

Наш полет закончен. Достигнув границы Солнечной системы, мы можем оглянуться и обозреть весь наш Большой дом и подвести некоторые итоги. Взгляд наш скользнет по Меркурию: он, очевидно, лишен спутников полностью. Даже в самые подходящие для наблюдения моменты, когда Меркурий проходит по солнечному диску (а это случается примерно 17 раз в столетие), никто у него спутников не замечал.

Затем еще раз «обыщем» окрестности Венеры. Правда, в 1672 и 1686 гг. знаменитый Кассини, в 1740 г. видный шотландский математик и оптик Джеймс Шорт (1710—1768) и за ним еще несколько менее известных астрономов XVIII в. наблюдали рядом с этой планетой некие подозрительные точки, но подтверждения такому факту в наши времена пока не найдено, несмотря на всю мощь нынешнего научного оборудования.

Земля... О ее Луне в этой книге мы договорились практически умолчать.

Следующая остановка — Марс и, как говорится, «далее везде». Везде рядом со всеми этими планетами спутники есть.

На тот день, когда дописывается эта книга, в Солнечной системе числится около 45 спутников планет, причем существование двух или трех из них считается сомнительным. В чем нам сомневаться не приходится, так это в существовании у великой Природы множества загадок, которых хватит на множество поколений любознательных. Недавние открытия Леды, Харона, третьего спутника Нептуна, колец Юпитера и Урана, вулканизма на Ио убеждают даже закоренелого скептика, что сюрпризы еще будут. Вселенная полна неожиданностей, она по-прежнему ждет пытливых.

Таблицы

Таблица 1. Сравнительные сведения о планетах Солнечной системы

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Среднее расстояние от Солнца (млн. км)	57,9	108,2	149,6	227,9	778,3	1427	2870	4497	5900
Период обращения вокруг Солнца	88 сут.	224,7 сут.	365,3 сут.	687 сут.	11,86 г.	29,5 г.	84,0 г.	164,8 г.	247,7 г.
Период вращения вокруг оси	59 сут.	243 сут. *)	23 ч 56 мин	24 ч 37 мин	9 ч 50 мин	10 ч 14 мин	11 ч *)	16 ч	6 сут. 9 ч
Экваториальный диаметр (км)	4880	12 104	12 756	6787	142 800	120 000	51 800	49 500	4000 (?)
Масса (Земля = 1)	0,05	0,81	1	0,11	318	95,2	14,6	7,2	0,1 (?)
Плотность (плотность воды = 1)	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,2	11,7	?
Атмосфера (основные компоненты)	нет	Двуокись углерода	Азот, кислород	Двуокись углерода, аргон (?)	Водород, гелий	Водород, гелий	Водород, гелий, метан	Водород, гелий, метан	?
Количество спутников **)	нет	нет	1	2	16	17	5	2 + 1 (?)	1

*) Венера и Уран вращаются вокруг собственной оси в «обратном» направлении по сравнению с остальными планетами.

**) По состоянию на 1981 г.

Таблица 2. Хронология открытия спутников планет *)

Планета	Спутник (название и номер)	Год откры- тия	Первооткры- ватель	Примечание
Марс	Фобос Деймос	1877 1877	А. Холл А. Холл	
Юпитер	1979 J3(XVI) **)	1979	С. П. Синнот	По данным «Вояд- жера-1 и -2».
	1979 I J (XIV) **)	1979	Д. Джюит, Дж. Э. Даниэлсон, С. П. Синнот	По данным «Вояд- жера-2».
	Амальтея 1979 J2 (XV)	1892 1979	Э. Э. Барнард С. П. Синнот	По данным «Вояд- жера-1».
	Ио	1610	Г. Галилей	
	Европа	1610	Г. Галилей	
	Ганимед	1610	Г. Галилей	
	Каллисто	1610	Г. Галилей	
	Леда	1974	Ч. Коваль	
	Гималия	1904	Ч. Д. Перрайн	
	Лиситея	1938	С. Б. Никольсон	
	Элара	1905	Ч. Д. Перрайн	
	Ананке	1951	С. Б. Никольсон	
	Карме	1938	С. Б. Никольсон	
	Пасифе	1908	П. Дж. Мелот	
	Синопе	1914	С. Б. Никольсон	
Сатурн	XV **)	1980		По данным «Вояд- жера-1».
	XIV	1980		То же.
	XIII	1980		То же.
	XI	1979		По данным «Пио- нера-11».
	X	1979		То же.
	Мимас	1789	У. Гершель	
	Энцелад	1789	У. Гершель	
	Тетис, или Те- фия	1684	Дж. Д. Кассини	
	Диона	1684	Дж. Д. Кассини	
	Диона В (XII)	1980	Ж. Лекашо	
	Рей	1672	Дж. Д. Кассини	
	Титан	1655	Х. Гюйгенс	
	Гиперион	1848	Дж. Ф. Бонд	
	Япет	1671	Дж. Д. Кассини	
	Феба	1898	У. Х. Пикеринг	
Уран	Миранда	1948	Дж. П. Койпер	
	Ариэль	1851	У. Лассел	
	Умбриэль	1851	У. Лассел	
	Титания	1787	У. Гершель	
	Оберон	1787	У. Гершель	
Нептун	Тритон	1846	У. Лассел	
	Нереида	1949	Дж. П. Койпер	
	N III	1981	У. Хаббард	
Плутон	Харон	1978	Дж. У. Кристи	

*) Спутники перечислены в порядке их удаленности от соответствующей планеты.

**) Существование требует подтверждения. В зависимости от этого может измениться нумерация.

Т а б л и ц а 3. Элементы орбиты Фобоса и Деймоса

Спутник	Среднее расстояние от Марса		Период обращения
	в км	в радиусах Марса	
Фобос	9 370	2,76	7 ч 39 мин 14 с
Деймос	23 520	6,90	30 ч 17 мин 55 с

Т а б л и ц а 4. Основные параметры спутников Марса

Спутник	Длина полуоси (км)			Объем, км ³	Масса, 10 ¹⁹ г
	Полуось <i>a</i>	Полуось <i>b</i>	Полуось <i>c</i>		
Фобос	13,5 ($\pm 0,5$)	10,8 ($\pm 0,7$)	9,4 ($\pm 0,7$)	5810	1,1
Деймос	7,5 ($\begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$)	6,1 (± 1)	5,5 (± 1)	1040	0,2

Т а б л и ц а 5. Характеристики спутников и кольца Юпитера *)

Номер (в очертности открытия)	Название	Расстояние от Юпитера, тыс. км	Период обращения вокруг Юпитера, сутки	Радиус, км	Плотность, г/см ³
	Кольцо	126,0 **)	0,29	—	—
XVI	1979 J3	128,1	0,29	< 12	?
XIV	1979 J1	128,6	0,29	< 20	?
V	Амальтея	181,3	0,49	≈ 130 и 75	?
XV	1979 J2	?	0,67	~ 40	?
I	Ио	421,6	1,77	1820±10	3,5
II	Европа	670,9	3,55	1525±25	3,1
III	Ганимед	1 070,0	7,15	2635±25	1,9
IV	Каллисто	1 880,0	16,69	2420±20	1,8
XIII	Леда	11 110,0	240,00	≈ 7	?
VI	Гималия	11 470,0	250,60	85±10	?
X	Лиситея	11 710,0	260,00	≈ 16	?
VII	Элара	11 740,0	260,10	40±10	?
XII	Ананке	20 700,0	617,00	≈ 15	?
XI	Карме	22 350,0	692,00	≈ 20	?
VIII	Пасифе	23 300,0	735,00	≈ 23	?
IX	Синопе	27 700,0	758,00	≈ 18	?

*) Характеристики всех спутников, имеющих в качестве названий имя собственное (то есть открытых до 1975 г.), даны по кн.: Юпитер: т. 1. Происхождение. Внутреннее строение. Спутники. — М.: Мир. 1978, с небольшими исправлениями по более новым данным. Спутники перечислены в порядке их удаленности от Юпитера. Орбиты внешних спутников существенно меняются.

**) Внешний край.

Таблица 6. Характеристики спутников и колец Сатурна *)

Название спутника или кольца	Радиус, км	Расстояние от Сатурна, тыс. км	Период обращения, сутки	Плотность, г/см ³
Кольцо С	—	73,2—91,8	—	—
» В	—	92,2—117,5	—	—
» А	—	121,0—136,2	—	—
Спутник XV	15	137,3	0,59	?
Спутник XIV	110	139,4	0,62	?
Кольцо F	—	140,6	—	—
Спутник XIII	100	141,7	0,63	?
Спутник XI	45×20	151,4	0,69	?
Спутник X	50×45	151,45	0,69	?
Мимас	195±5	188,2	0,96	1,2±1
Энцелад	250±10	240,2	1,39	1,1±0,6
Тетис **)	525±10	296,6	1,91	1,0±0,1
Диона В (XII)	≈80	378,6	2,74	?
Диона	560±10	379,0	2,74	1,4±0,1
Рей	765±10	527,8	4,52	1,2±0,3
Титан	≤2570	1221,0	15,94	≥1,9
Гиперион	175±20	1502,2	21,30	?
Япет	720±20	3559,4	79,33	1,1±0,5
Феба	70±40	10 583 — 12 930	≈406	?

*) Спутники Янус и Темис в таблице отсутствуют, так как их существование можно считать неподтвержденным. Возможно, что с ними будут идентифицированы ближайшие к ним спутники X и XI.

**) В 1980 г. на орбите Тетис открыты еще 2 маленьких тела.

Таблица 7. Характеристики спутников Урана

Спутник	Среднее расстояние от планеты, км	Наклонение к экваториальной плоскости Урана, градусы	Период обращения, сутки	Радиус, км
Миранда	129 800	3,4	1,4	120 (?)
Ариэль	190 900	~ 0,0	2,5	350 (?)
Умбриэль	266 000	~ 0,0	4,1	250 (?)
Титания	436 000	~ 0,0	8,7	500 (?)
Оберон	583 400	~ 0,0	13,5	450 (?)

Таблица 8. Характеристики спутников Нептуна и Плутона

Планета	Спутник	Среднее расстояние от планеты, км	Наклонение к экваториальной плоскости планеты, градусы	Период обращения, сутки	Радиус, км	Плотность, г/см ³
Нептун	Тритон	355000	160	5,9	2200±400	≈ 3,0 (?)
	Нереида	5567000	28	360,0	≈ 150 (?)	?
	N III	?	?	?	≈ 80	?
Плутон	Харон	19000	?	6,4	1000 (?)	?

Литература

- Бобров М. С. Кольца вокруг планет.— Земля и Вселенная, 1979, № 5, с. 19—25.
- Бобров М. С. Кольца Сатурна.— М.: Наука, 1970.
- Бронштэн В. А. Загадочный Тритон.— Земля и Вселенная, 1979, № 2, с. 47—48.
- Бронштэн В. А. О происхождении нерегулярных спутников Юпитера.— Астрон. вестн., 1968, т. 2, № 1, с. 29—36.
- Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение.— М.: Наука, 1979.
- Бронштэн В. А. Планета Марс.— М.: Наука, 1977.
- Бронштэн В. А. Система Плутона.— Земля и Вселенная, 1980, № 2, с. 30—31.
- Бурба Г. А. «Вояджер-1» в мире Сатурна.— Природа, 1981, № 7, с. 92—98.
- Бурба Г. А. Юпитер и его спутники на снимках «Вояджера-1».— Природа, 1979, № 12, с. 26—33.
- Голицын Г. С. Плутон и его спутник.— Земля и Вселенная, 1979, № 2, с. 40—41.
- Голицын Г. С., Стеклов А. Ф. Атмосферы спутников больших планет.— Земля и Вселенная, № 5, 1979, с. 26—29.
- Гольдовский Д. Ю. «Викинги» летят к Марсу.— Земля и Вселенная, 1976, № 3, с. 6—20.
- Гольдовский Д. Ю. Новая встреча с Юпитером.— Земля и Вселенная, 1979, № 5, с. 15—18.
- Жарков В. М., Трубицын В. П., Самсоненко Л. В. Физика Земли и планет.— М.: Наука, 1971.
- Карпенко Ю. А. Названия звездного неба.— М.: Наука, 1981.
- Колчинский И. Г., Корсунь А. А., Родригес М. Г. Астрономы: Биографический справочник.— Киев: Наукова думка, 1977.
- Мартынов Д. Я. Планеты: Решенные и нерешенные проблемы.— М.: Наука, 1970.
- Мишо Ш. Планета Марс: Физические свойства.— М.: Мир, 1970.
- Мороз В. И. Физика планет.— М.: Наука, 1967.
- Мороз В. И. Физика планеты Марс.— М.: Наука, 1978.
- Николаева З. Кольца вокруг Урана.— Наука и жизнь, 1977, № 9, с. 158—159.
- Новое о Марсе: Сб. статей/Перев. с англ. под ред. В. И. Мороза.— М.: Мир, 1974.
- Рускол Е. Л. Вулканы на Ио.— Земля и Вселенная, 1979, № 5, с. 18—19.

- Рускол Е. Л.* Происхождение Луны. Гл. VI. Образование спутников у других планет Солнечной системы.— М.: Наука, 1975.
- Рускол Е. Л.* Спутники Марса.— Земля и Вселенная, 1978, № 2, с. 52—55.
- Рускол Е. Л.* Спутники Сатурна.— Земля и Вселенная, 1981, № 2, с. 40—45.
- Спутники планет/Под ред. Дж. Бернса. Пер. с англ. М.: Мир, 1980.
- Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум.— 2-е изд.— М.: Наука, 1965.
- Шмидт О. Ю.* Четыре лекции о теории происхождения Земли.— 3-е изд.— М.: Изд-во АН СССР, 1957.
- Юпитер. Т. 1: Происхождение и внутреннее строение. Спутники/Под ред. Т. Герелса. Перев. с англ. под ред. В. Н. Жаркова.— М.: Мир, 1978.

Содержание

ПРОЛОГ: НАШЕ «МЕСТО ПОД СОЛНЦЕМ»	3
«СТРАХ» И «УЖАС» — СПУТНИКИ БОГА ВОЙНЫ	12
Догадка и открытие	12
Исследование	17
Кто вспахал Фобос?	25
А не искусственные ли они?	34
МИР ЮПИТЕРА	38
Первое знакомство	38
Родословная юпитеровой семьи	53
На поверхности и в недрах	59
А все-таки она есть!	73
Космические автоматы совершают переворот	84
Сенсация: вулканы извергаются на спутнике	108
В ЦАРСТВЕ САТУРНА	122
Большое кольцо	122
Коснемся их рукой	138
Титан среди спутников	150
В кругу сатурновой семьи	157
Сатурнияне заполняют анкету	163
УРАН ПРЕПОДНОСИТ СЮРПРИЗЫ	176
Шекспировский уголок Вселенной	176
Чело, увенчанное нимбом	180
СТРАННАЯ ПАРА — НЕПТУН И ПЛУТОН	189
ЭПИЛОГ	201
ТАБЛИЦЫ	202
ЛИТЕРАТУРА	206

Борис Исаакович Силкин

В МИРЕ МНОЖЕСТВА ЛУН

Редактор Г. С. Куликов

Технический редактор В. Н. Кондакова

Корректоры Е. А. Белицкая, Н. Б. Румянцева

ИБ № 12020

Сдано в набор 14.08.81. Подписано к печати 01.03.82. Т-00360. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 2. Обыкновенная, новая гарнитура. Высокая печать. Условн. печ. л. 10,92. Уч.-изд. л. 11,27. Тираж 150 000 экз. Заказ № 1258. Цена 40 коп.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград. Л-52, Измайловский проспект, 29

40 коп.

