



№ 6 (25), 2008

ИЮНЬ

# НАУКА@ТЕХНИКА

## ЖУРНАЛ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ МОЛОДЕЖИ



БОЕВЫЕ КОРОМЫСЛА



ЮЛИЙ ЦЕЗАРЬ



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ САМОЛЕТ X-1



СУБЪЕКТИВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ



ИСТОРИЯ САМОЛЕТА АН-10



ТАЙНЫ ВСЕЛЕННОЙ (Большой взрыв)



СХВАТКА ЗА КПД Часть II



ГЕРБ Г. ХАРЬКОВА ВРЕМЕН РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ



СТР. 7

# «ВОЯДЖЕРЫ» УШЛИ К ЗВЕЗДАМ

# «ВОЯДЖЕРЫ» УШЛИ К ЗВЕЗДАМ...

## Часть I

Немногим более тридцати лет назад со стартового комплекса LC-41 на мысе Канаверал с разницей в 16 суток — 20 августа и 5 сентября 1977 г. — стартовали два тяжелых ракето-носителя (РН) Titan 23E, на дополнительных четвертых ступенях которых были смонтированы две идентичные автоматические межпланетные станции Voyager («Вояджер» — «мореплаватель»).

Первая из них получила имя Voyager-2, а вторая — Voyager-1, так как была запущена по более «быстрой» траектории и должна была вскоре обогнать первую. Это произошло в поясе астероидов 15 декабря 1977 г. на расстоянии около 125 млн. км от Земли. С тех пор Voyager-1 идет впереди своего «собрата» и по сей день остается самым далеким космическим аппаратом, когда-либо запущенным в космос человеком. И конкурентов ему, по крайней мере в ближайшие десятилетия, не предвидится.

За 30 лет на Землю с двух АМС было передано такое количество информации о Солнечной системе, какого не было накоплено за всю историю (!) ее исследования со времен Средневековья. Подсчитано, что к моменту пролета «Вояджера-2» у Нептуна (1989 г.) на Землю было передано около 5 трлн. бит научных данных. Но это бесстрастные числа, а по сути «Вояджеры» заново открыли нам внешние планеты Солнечной системы. На потрясающих изображениях снимках люди увидели новые, неизвестные миры. Многие загадки будоражат умы ученых и по сей день.

Конечно, рассказать в краткой статье подробно о 30 годах полета двух «Вояджеров» нереально. Но к прошедшей «круглой дате» мы постарались просуммировать основные открытия и наиболее важные результаты их исследований, а также привести воспоминания непосредственных участников проекта Voyager, которые стояли у его истоков и были свидетелями тех исторических событий.

### Гравитационный маневр — ключ к Солнечной системе

Путешествие «Вояджеров» было бы невозможным без серии гравитационных (пертурбационных) маневров в поле тяготения одной планеты с набором скорости для полета к другой. Если бы аппараты летели по «классическим» полуэллипсам Вальтера Гоманна (Walter Hohmann), описанным им в 1925 г., перелет до Нептуна, например, занял бы почти 31 год вместо 12, не говоря уже о том, что одна станция смогла бы исследовать лишь одну планету.

Стоит отметить, что первый пертурбационный маневр в истории космонавтики был выполнен в ходе полета советской АМС Е-2А («Луна-3»), запущенной 4 октября 1959 г.

Выполнив облет Луны с фотографированием ее обратной стороны, станция изменила свою траекторию, вернулась к Земле с направления, благоприятного для передачи изображений, и стала спутником Земли. Этот полет стал возможным в результате пионерских работ В.А. Егорова, М.Л. Лидова, Д.Е. Охочимского и их коллег (1957 г.) из Математического института АН СССР, выполненных под руководством М.В. Келдыша.

В США к идее гравитационных маневров пришли своим путем.



КА «Вояджер» на испытательном стенде в центре космических полетов им. Кеннеди

Летом 1961 г. в группе траекторий Лаборатории реактивного движения (JPL) стажировался 25-летний студент-математик из Университета Калифорнии в Лос-Анжелесе Майкл Эндрю Минович (Michael Andrew Minovitch). Решив поставленную перед ним специфическую математическую задачу (определение параметров траектории полета в поле тяготения между двумя заданными точками при фиксированном времени перелета), он заинтересовался проблемой расчета траектории КА, выполняющего облет Марса с последующим возвращением к Земле. Будучи одним из вариантов ограниченной задачи трех тел, аналитического решения она не имела, а численный расчет на имеющемся в JPL компьютере IBM-7090 сходил далеко не всегда.

Минович вскоре придумал способ приближенной оценки параметров облетной траектории, пригодных для дальнейшего численного расчета, и заметил интереснейшую вещь: энергия КА после сближения с планетой — если измерять ее в системе отсчета, связанной с Солнцем, — может очень значительно отличаться от энергии до сближения.

В августе Майкл подготовил 47-страничный доклад с алгоритмом расчета траекторий в случае последовательного пролета нескольких планет. По сути 25-летний автор показал, что, войдя с нужного направления в поле тяготения планеты, можно «позаимствовать» часть ее энергии и выйти в другом направлении со значительно большей энергией и гелиоцентрической скоростью. В частности, на выходе можно получить направление и скорость, позволяющие направить аппарат к



Проверка раскрытия штанги магнитометров в ангаре ВВС на мысе Канаверал

другой, более далекой планете. При этом скорость отлета от Земли может оказаться меньше, а время перелета — короче, чем если бы аппарат сразу запускался ко второй планете.

Аналогичный «фокус» можно проделать и у второй планеты — и направиться к третьей. В качестве иллюстрации Минович предложил для расчета траектории Земля — Венера — Марс — Земля — Сатурн — Плутон — Юпитер — Земля.

Руководитель Майкла встретил эту инициативную работу без энтузиазма, и Миновичу пришлось самостоятельно программировать свои уравнения и вводить исходные данные — координаты девяти планет на 1960-1980 гг. Он проводил расчеты с января 1962 по сентябрь 1964 г. на институтском компьютере, а с июня 1962 г. и на машинах в JPL, после того как продемонстрировал руководителю группы траекторий Виктору Кларку (Victor C. Clarke Jr.) свои результаты расчета траектории Земля — Венера — Марс — Земля и получил поддержку.

В марте 1963 г. Минович представил в JPL официальный отчет на 130 страницах уже с конкретными вариантами траекторий Земля — Венера — Меркурий и Земля — Венера — Марс. Среди них, в частности, была и та трасса, по которой проследовала американская АМС Mariner-10. Она была запущена 3 ноября 1973 г. и 5 февраля 1974 г. совершила пролет Венеры, благодаря которому была направлена к своей главной цели — Меркурию. Это и был первый гравитационный маневр в американской космической программе.

Весной и летом 1963 г. Минович выступил с несколькими докладами, и после этого его работа стала хорошо известна в профессиональной среде, а метод взят на вооружение. Практическое использование «планетной» тяги поначалу казалось затруднительным из-за высокой чувствительности метода к погрешностям траекторий, но в начале 1965 г. Эллиотт Каттинг (Elliott Cutting) и Фрэнсис Стермс (Francis M. Sturms Jr.) показали, что необходимые точности достижимы с использованием существующей навигационной аппаратуры.

Сейчас Миновичу 71 год, он живет в Лос-Анжелесе и пребывает в полной уверенности, что именно он изобрел метод гравитационного маневра и открыл человечеству доступ к

планетам Солнечной системы. Он утверждает, что Гоманн (1925) и Гаэтано Крокко (Gaetano A. Crocco, 1956) рассматривали вариант посещения одним кораблем нескольких планет, но возмущения от его сближения с планетами не использовали и пытались компенсировать либо включениями бортовых двигателей, либо взаимно. Фридрих Цандер, зная об изменении энергии КА при пролете у планеты, оставался якобы «в плену» гоманновских траекторий. Дерек Лоуден (Derek F. Lowden, 1954) вычислял приращение скорости от пролета планеты, но не указывал на возможность его использования. О работах советских специалистов, выполненных в конце 1950-х годов, и о полете «Луны-3» Минович «благоразумно» не упоминает.

Если уж говорить о предшественниках, то нужно заметить, что работа Ф.А. Цандера «Перелеты на другие планеты (Теория межпланетных путешествий)», написанная в 1925-1929 гг., была впервые опубликована в 1961 г. — воспользоваться ею американец не мог. Но при внимательном прочтении видно, что Цандер использовал тот же принцип суммирования вектора планетоцентрической скорости КА и скорости самой планеты, что и Минович, вычислял изменение энергии и гелиоцентрической скорости после пролета, считал приращение скорости в результате гравитационного маневра важным ресурсом, оценивал соответствующую ему экономию топлива и поставил вопрос о вычислении максимально возможного удаления корабля от Солнца в результате пролета планеты. Единственное, чего Цандер не сделал, — это не направил свой корабль к другой планете.

#### «Большой тур»

Второй и последний отчет Майкл Минович выпустил в феврале 1965 г. — он был посвящен использованию гравитационного поля Юпитера для полетов к дальним планетам, для выхода из плоскости эклиптики и для отправки зонда в окрестности Солнца. Все эти идеи были реализованы в период с середины 1970-х до начала 1990-х годов.

Автор указывал на возможность перелета по трассе Земля — Юпитер — Сатурн в 1976 г. и Земля — Юпитер — Плутон в 1977 г. с продолжительностью полета до Плутона всего в семь лет. Один из представленных в отчете вариантов предусматривал запуск КА 8 сентября 1977 г. с возможностью дальнейшего полета от Юпитера к Сатурну. Расчет этой траектории, однако, проведен не был: в распоряжении Миновича не было эфемерид планет после 1980 г.

Не был он, кстати, и первым, кто опубликовал предложение о гравитационном маневре у Юпитера: Максвелл Хантер (Maxwell W. Hunter II), знакомый с работами Миновича, еще в 1964 г. предложил использовать такой пролет для быстрого достижения внешних планет. А осенью 1965 г. с аналогичной идеей выступил аспирант Калифорнийского технологического института Гэри Фландро (Gary A. Flandro), приглашенный в JPL продолжить исследования Майкла Миновича.

Фландро выполнил расчеты различных вариантов пролета внешних планет с использованием поля тяготения Юпитера в 1975-1981 гг. и показал, в частности, что при запуске в 1976-1978 гг. можно было осуществить последовательный пролет всех четырех внешних планет — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — при весьма скромной отлетной скорости. Фландро дал этой поистине головокружительной траектории название Grand Tour («Большой тур», или «Великое путешествие»), хотя проекты с таким именем уже существовали. Ясно было, что это уникальная возможность: следующего благоприятного периода для пролета всей четверки пришлось бы ждать около 175 лет.

В течение нескольких лет было предложено несколько разных траекторий «Большого тура», ориентированных на ракеты Saturn-1B или Titan-3 с ракетной ступенью Centaur и даже на Atlas Centaur, правда, с использованием электрореактивной двигательной установки (ДУ) на борту космического аппарата (КА). Две из них отличаются обстоятельствами встречи с Сатурном: на более быстрой траектории — аппарат должен пройти между поверхностью Сатурна и его кольцом. Естественно, это был дополнительный риск, так как условия вблизи планеты были неизвестны.

Наибольший интерес к «Большому туру» проявила Лаборатория реактивного движения (что неудивительно). В декабре 1966 г. руководитель перспективного планирования JPL Хомер Стюарт (Homer J. Stewart), говоря современным языком, «пропиарил» проект в журнале *Astronautics and Aeronautics*. Однако нужно было убедить в его необходимости руководство NASA и научное сообщество (которому больше импонировали малые краткосрочные миссии с быстрой отдачей), а затем и правительство, чтобы получить необходимые (и немалые) средства.

А для этого нужно было доказать техническую реализуемость проекта с учетом большой продолжительности полета (от 7 до 13 лет, в зависимости от выбора траектории) и невозможности питания от солнечных батарей. С этой целью в JPL в 1968 г. была начата перспективная работа по теме TOPS (что означало: «Thermoelectric Outer Planets Spacecraft» то есть «Термоэлектрический КА для внешних планет»). Она предусматривала подготовку проекта, изготовление и испытание отдельных систем и инженерного макета КА, а также создание системы сертификации для длительных миссий.

Необходимый объем средств на проект TOPS был оценен в 17,5 млн \$; фактически был израсходован 21 млн — 7 млн в 1970, 10 млн в 1971 и 4 млн в 1972 ф.г., причем на инженерный макет денег не хватило. Проектанты предложили КА массой 656 кг, питаемый от четырех радиоизотопных генераторов на плутонии-238 суммарной мощностью 439 Вт в конце полета. Источники питания размещались на откидной 1,5-метровой штанге, а служебная аппаратура экранировалась от их 12-летнего воздействия. Предусматривалась и защита от мощных радиационных полей, ожидавшихся в окрестностях Юпитера. Научные инструменты, в том числе камеры, также выносились на штангах, причем штанга магнитометра и детектора плазмы имела длину 9,2 м.

TOPS должен был иметь трехосную систему стабилизации, измерительными устройствами которой были солнечный датчик и датчик Каноупса, используемые на АМС серии Mariner, а исполнительными — маховики, требующие лишь минимального расхода гидразина для разгрузки путем включения двигателей. Коррекции траектории возлагались на однокомпонентный ЖРД тягой 25 фунтов (11,3 кгс, 110 Н) с запасом топлива, соответствующим приращению скорости на 220 м/с.

Связной комплекс обеспечивал передачу от Нептуна с расстояния 30 а.е., на скорости 2048 бит/с, что позволяло за 11 суток принять на Земле до 400 снимков размером по 5 Мбит каждый. Для промежуточного хранения данных предусматривались два записывающих устройства на магнитной ленте емкостью по 1 Гбит и буфер на 100 Мбит. При пролете Юпитера всю информацию можно было передавать в реальном масштабе времени со скоростью 131072 бит/с.



Комплекс включал остронаправленную антенну диаметром 4,3 м, разворачиваемую после запуска КА и сходную по конструкции с антенной лунного научного комплекса ALSEP, пять передатчиков диапазона 5 и два — более высокочастотного диапазона X.

Учитывая продолжительность полета и большое время радиообмена (порядка 8 часов у Нептуна!), аппарат должен был обладать высокой автономностью. Отсюда — необходимость установки бортового компьютера. Но что, если откажет сам компьютер?

Для решения этой проблемы в JPL уже давно велась разработка компьютера с возможностями самотестирования и самовосстановления (STAR — Self Test and Repair). В 1965 г. команда д-ра Алвереса Авизиниса (Alvarez Avizienes) создала первую работающую модель компьютера типа STAR, а к 1969 г. — собственно компьютер из 10 модулей, способный в течение 0,01 сек определить неполадку и выполнить необходимую переконфигурацию. За состоянием модулей по выдаваемым ими диагностическим сообщениям следил специальный троированный процессор TARP. Весь этот комплекс занимал три стойки в человеческий рост, так что миниатюризация его представляла серьезнейшую проблему. (К счастью, из-за прогресса в микроэлектронике этот «монстр» не нашел своего применения.)

### «Пионеры»

С развертыванием работ по теме TOPS стало очевидно, что отправлять крайне дорогостоящий аппарат с таким сложным заданием, не зная обстановку по пути, очень рискованно. Нужен был аппарат-разведчик, который пересечет пояс астероидов и исследует радиационную обстановку у Юпитера, а может, и у Сатурна. На нем можно было бы отработать некоторые новые системы и получить опыт связи и управления на больших расстояниях — а заодно и построить соответствующие наземные 64-метровые антенны с соответствующим приемно-передающим оборудованием.

Серьезное планирование таких зондов-разведчиков началось в феврале 1968 г., а проект был утвержден руководством NASA в феврале 1969 г. Аппараты создавались на базе стабилизированных вращением межпланетных зондов Pioneer A...E, разработанных в Исследовательском центре имени Эймса, и получили следующие за ними порядковые обозначения Pioneer F и Pioneer G. Изготовила их компания TRW Systems Group. Каждый аппарат был запитан четырьмя радиоизотопными генераторами SNAP-19, выдающими в сумме 155 Вт при запуске и 140 Вт у Юпитера.

После запуска (первый был запущен носителем Atlas Centaur с дополнительным твердотопливным разгонным блоком 3 марта 1972 г., второй — 6 апреля 1973 г.) станциям дали номера Pioneer-10 и Pioneer-11. Аппараты массой по 260 кг получили отлетную скорость 14,5 км/с и ушли к Юпитеру, которого достигли соответственно 4 декабря 1973 г. и 3 декабря 1974 г.

Pioneer 11 поначалу шел той же трассой, что и Pioneer 10. Однако после успешной встречи первого КА с Юпитером вторую станцию перенацелили, и она стала вторым американским аппаратом, использовавшим гравитационный маневр для достижения другой планеты. 1 сентября 1979 г. Pioneer 11 бесстрашно пронесся на высоте 20200 км над облаками Сатурна и, подобно своему предшественнику, отправился в бесконечное межзвездное путешествие.

А Pioneer 10 установил фантастический для своего времени рекорд долголетия, который только сейчас будет превзойден «Вояджером». Последний сеанс двусторонней связи со станцией состоялся 26-27 апреля 2002 г. — спустя 30 лет и 2 месяца после запуска!

### Конец «Большого тура»

В начале 1969 г. созданная в NASA Рабочая группа по внешним планетам предложила пересмотреть концепцию «Большого тура», разделив его надвое. Было решено действовать в два приема, но исследовать не четыре, а пять дальних планет. Соответствующий сценарий был опубликован в июне 1969 г. Джеймсом Лонгом (James E. Long) из Отдела перспективных проектов JPL.

Предполагалось, что первый аппарат GT1 стартует в августе 1977 г., в январе 1979 г. минует Юпитер и в августе 1980 г. — Сатурн, а затем направляется к Плутону, которого достигает в январе 1986 г. При этом «гравитационная роль» Сатурна состоит главным образом в выводе КА из плоскости эклиптики — поскольку в момент встречи Плутон будет находиться примерно в 8 а.е. над нею. Аппарат GT2 запускается в ноябре 1979 г. и следует по маршруту Юпитер (1981) — Уран (1985) — Нептун (1988). Дополнительным достоинством этого сценария стали более легкие условия пролета Сатурна — не под кольцами, а выше их. В качестве носителя Дж. Лонг предложил комбинацию Titan III + Centaur. Рабочая группа также предложила создать для скорейшего исследования внешних планет аппарат класса Maginer. Созванная в июне 1969 г. конференция ученых из Комиссии по космической науке поддержала эту идею и выдала на-гора план из пяти проектов: две миссии «Большого тура», один аппарат исключительно для исследования Юпитера, один для отклонения Юпитером к Солнцу и один для полета через Юпитер к Урану.

Далее пролетные аппараты предлагалось оснастить сбрасываемыми на планеты зондами, тем более что компания Martin Marietta Corp. уже прорабатывала два варианта зонда для спуска в Юпитер и проведения уникальных исследований в атмосфере планеты-гиганта. Один был рассчитан на аппарат-носитель класса Pioneer и мог доставить аппаратуру массой 12,3 кг на глубину, соответствующую давлению 72 атм. Второй предлагался для установки на TOPS и должен был достичь «глубины» в 300 атм с приборами массой 8,6 кг. К сожалению, детальный анализ траекторий показал, что при сбросе с TOPS зонд сможет достичь лишь отметки 10 атм. Требовалось значительное усложнение конструкции, но «двухступенчатый зонд» получался слишком тяжелым и плохо вписывался в план гравитационного маневра к Сатурну. Стало ясно, что лучше планировать зонды на аппаратах, не входящих в «Большой тур». Отметим сразу,



*Первопроходцами трассы «Большого тура» послужили КА серии «Pioneer»*

что реализовать эти предложения удалось лишь через 20-30 лет — в проектах Gallileo и Cassini.

NASA намеревалось запросить средства на начало НИ-ОКР по программе «Большой тур» с 1971 финансового года, однако летом 1969 г. при «верстке» бюджетного запроса новая администрация Ричарда Никсона дала понять, что это преждевременно.

Возникшая пауза вызвала брожение в научной среде, которое в январе 1971 г. выплеснулось наружу. Герберт Фридман (Herbert Friedman), председатель комиссии по составлению приоритетного списка космических научных программ, встал в оппозицию к «Большому туру», полагая, что он отберет средства у множества других важных проектов, и в частности — у Космического телескопа со 114-сантиметровым зеркалом.

К этому моменту «Большой тур» включал два КА для запуска в 1976 и 1977 гг. по трассе Юпитер — Сатурн — Плутон и еще два для старта в 1979 г. к Урану и Нептуну. Разработка и изготовление аппаратов оценивались в 750-900 млн. \$, заказ носителей — еще в 106 млн \$. И плюс к этому — не забывайте! — поддерживаемые научным сообществом отдельные миссии по исследованию Юпитера и Сатурна.

В декабре 1970 г. и.о. администратора NASA Джордж Лоу «с горя» предложил Бюджетному управлению OMB ограничиться одной лишь миссией 1979 г. к Урану и Нептуну. Предложение это не прошло, зато в марте 1971 г. OMB рекомендовало сделать выбор в пользу более скромного аппарата, чем TOPS. Сумма в 30 миллионов на «Большой тур» осталась в бюджетном запросе на 1972 ф.г., но тут в дело вступил еще один «игрок» — сенатор Клинтон Андерсон, горячий сторонник ядерного ракетного двигателя NERVA. 12 мая 1971 г. его комитет по авиации и космической науке сократил финансирование «Тура» в пользу NERVA.

Судьба проекта решилась окончательно в ходе подготовки бюджета на 1973 ф.г. Администратор NASA Джеймс Флет-

чер сначала включил в проект расходы на два новых больших проекта — Grand Tour и Space Shuttle. В декабре 1971 г. он узнал, что президент Никсон намерен утвердить проект Space Shuttle, но не готов финансировать обе программы одновременно. Флетчер сдался и согласился заменить «Большой тур» запуском двух аппаратов класса Mariner в 1977 г.

### MJS-77

Решение о закрытии проекта «Большой тур» было объявлено 22 января 1972 г., но еще до этого в JPL началось планирование новой программы с целью исследования Юпитера, Сатурна и их наиболее интересных спутников — Ио и Титана. Неофициально ее называли Mini Grand Tour, а по документам она проходила как Mariner Jupiter Saturn 1977 (MJS-77). Стоимость ее оценивалась «всего» в 360 млн \$. В феврале программу единогласно поддержала комиссия по космической науке, и вскоре Конгресс проголосовал за выделение средств на нее.

По решению заместителя администратора NASA по космической науке Джона Ногла (John E. Naugle), контракт на MJS-77 промышленности не выдавался — проект остался внутренней разработкой JPL. 18 мая был оформлен соответствующий заказ, а 3 июня документы по проекту были официально утверждены.

Но еще до этого, в апреле, NASA выпустило запрос к научному сообществу и получило свыше 200 предложений по аппаратуре для КА MJS-77. Были выбраны 90 ученых из США и четырех западноевропейских стран (Британия, Франция, ФРГ и Швеция). Предложенный ими состав научной аппаратуры был скорректирован после пролета «Пионера-10» у Юпитера и в окончательном варианте выглядел так:

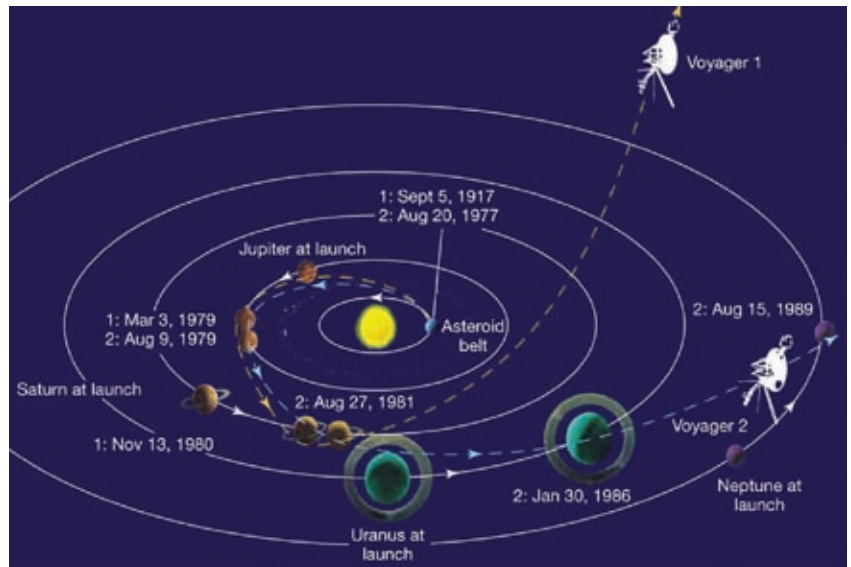
- Съемочная система ISS (Imaging Subsystem) из двух телекамер с широкоугольным и телевизионным объективами (фокусное расстояние — 200 и 1500 мм соответственно). Телеобъектив давал угловое разрешение до 4» в поле зрения 0.4°. Для получения цветных изображений было предусмотрено восемь различных фильтров, в том числе два фильтра на спектральные линии метана и один на дублет натрия.

- Инфракрасный спектрометр-интерферометр и радиометр IRIS (Infrared Interferometer Spectrometer and Radiometer) на диапазон 4-50 мкм. В основу инструмента положен телескоп системы Кассегрена с первичным зеркалом диаметром 0.5 м. Прибор предназначался для построения температурных профилей и исследования энергетического баланса атмосфер планет и спутников, определения состава и физических характеристик поверхностей и атмосфер планет, спутников и колец.

- Фотополяриметр PPS (Photopolarimeter Subsystem) на базе телескопа системы Кассегрена (150 мм) был предназначен для получения информации о пылевых (аэрозольных) частицах в атмосферах планет и в кольцах Сатурна, а также о структуре поверхности спутников и о натриевом торе Ио.

- УФ-спектрометр UVS (Ultraviolet Spectrometer Subsystem), регистрирующий излучение в диапазоне 40-180 нм. Назначение — исследование температуры и состава верхних слоев атмосферы, определение концентрации ионов и атомов различных элементов, а также изучение межпланетной и межзвездной среды.

- Два детектора межпланетной плазмы PLS (Plasma Subsystem), выполненные в виде чаш Фарадея и регистрирующие электроны и ионы с энергией до 6 кэВ. Они были пред-



Траектория полета к внешним планетам с гравитационным маневром в поле тяготения Юпитера для «Вояджер-1» и с пролетом четырех внешних планет для «Вояджер-2»

назначены для исследования свойств солнечного ветра и его взаимодействия с планетными системами, для изучения магнитосфер планет и их возмущений спутниками, а также для поиска ударной волны и гелиопаузы.

- Детектор заряженных частиц низких энергий LESP (Low Energy Charged Particle Subsystem), включающий анализатор магнитосферных частиц LEMPA и телескоп низкоэнергичных частиц LEPT. Первый предназначался для исследования энергетического спектра и углового распределения ионов с энергией более 15 кэВ и электронов с энергией более 10 кэВ в магнитосферах Юпитера и Сатурна; второй был ориентирован на регистрацию в межпланетном пространстве ионов с энергией более 5 кэВ на нуклон и определение их изотопного состава.

- Детекторы энергичных космических лучей CRS (Cosmic Ray Subsystem), измеряющие спектр электронов с энергиями 3-110 МэВ и ядер с энергией 1-500 МэВ/нуклон.

- Две пары трехосных индукционных магнитометров MAG (Magnetometer Subsystem), регистрирующих слабые (8-50000 нТ) и сильные (до 2000000 нТ) магнитные поля.

- Детектор плазменных волн PWS (Plasma Wave Subsystem) на диапазон от 10 Гц до 56 кГц, позволяющий определять профили плотности тепловой плазмы у Юпитера и Сатурна, а также исследовать взаимодействие спутников этих планет с их магнитосферами.

- Приемник PRA (Planetary Radio Astronomy Subsystem) для регистрации радиоизлучения Юпитера и других источников в частотных диапазонах 20.4-1345 кГц и 2.3-40.55 МГц. Приемник использовал совместно с PWS две взаимно перпендикулярные антенны длиной по 10 м.

Все приборы, кроме трех последних, находились на специальной штанге длиной 2.3 м, причем камеры и спектрометры были установлены на поворотной платформе с двумя степенями свободы. Магнитометры имели отдельную штангу длиной 13 м.

Кроме этого, была предусмотрена возможность радиозондирования Юпитера, Сатурна и их спутников с использованием радиотехнической системы RSS (Radio Science Subsystem). Также были запланированы исследования в области небесной механики по траекторным измерениям — определение масс и параметров гравитационных полей планет и их спутников и характеристик орбитального движения.

(Продолжение следует...)

П.Шаров, И.Лисов

# «ВОЯДЖЕРЫ» УШЛИ К ЗВЕЗДАМ...

## Часть II

Космический аппарат (КА) Voyager создавался на базе марсианских станций Mariner Mars 71 с использованием некоторых решений будущей миссии Viking.

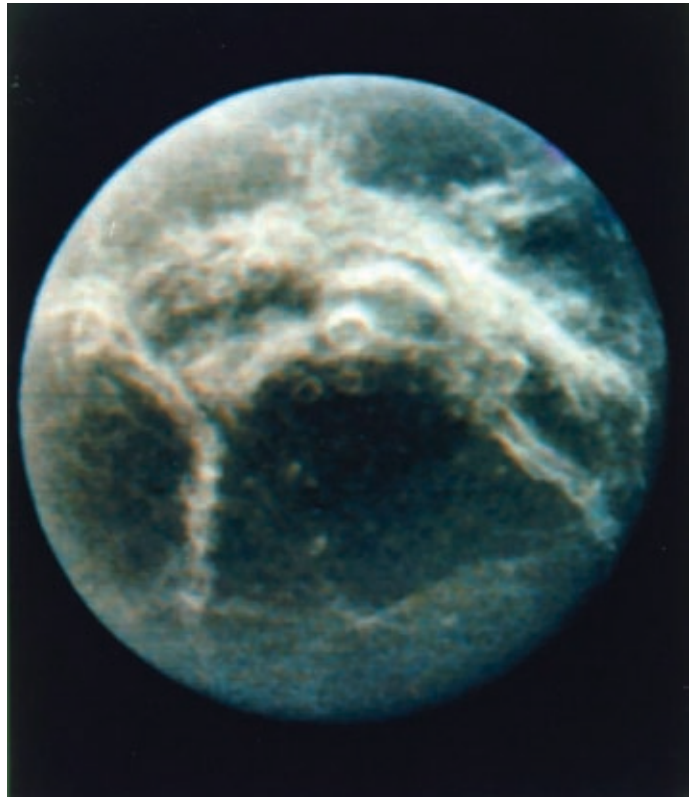
Сухая масса аппарата составляет 721 кг, стартовая — 825 кг. Станция несет 105 кг полезной нагрузки, общее электропотребление которой близко к 100 Вт.

Алюминиевый корпус КА имеет форму 10-гранной призмы высотой 0.47 м и диаметром 1.78 м (по параллельным граням). За каждой из граней имеется отсек электроники с блоками различного назначения (отсек №1 — радиопередатчики и т.д.). Вдоль продольной оси аппарата (ось вращения Z) имеется проем, в котором расположен топливный бак диаметром 0.7 м со 104 кг гидразина.

Вдоль оси Z ориентирован отражатель остронаправленной антенны высокого усиления HGA диаметром 3.66 м, соединенный с корпусом через ферменный переходник. По диаметру антенна значительно больше корпуса, и кажется, что не «тарелка» установлена на нем, а корпус приделан сбоку к «тарелке». В штатном режиме полета аппарат стабилизирован вращением вокруг оси Z, и антенна HGA «смотрит» в сторону Земли.

По оси Y (ось рысканья) от корпуса в противоположных направлениях отходят выносная штанга с тремя радиоизотопными генераторами и штанга научной аппаратуры. Четыре прибора, которые требуется наводить на объект съемки независимо от ориентации аппарата, установлены не на самой штанге, а на сканирующей платформе с двухступенным приводом, точность которой около 0.1°. Еще два радиальных элемента «Вояджера» — это штанга магнитометров и объединенная антенна приборов PRA и PWS, известная как «уши кролика».

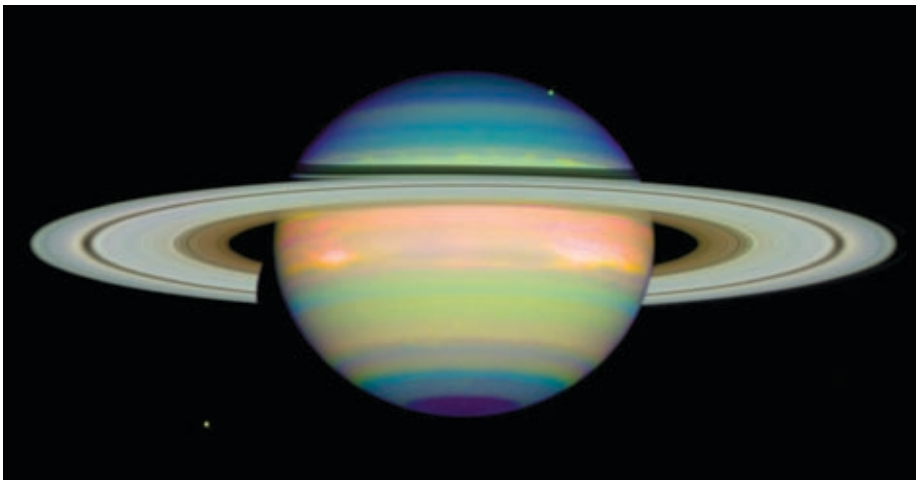
Важнейшей проблемой для дальних АМС является источник энергии, поэтому с него мы и начнем описание систем «Вояджера». Мощность, получаемая от Солнца, ослабевает как квадрат расстояния. Уже у Юпитера она в 26 раз меньше, чем у Земли, так что от солнечных батарей было бы мало толку и сегодня, а с малоэффективными фотоэлементами середины 1970-х и подавно.



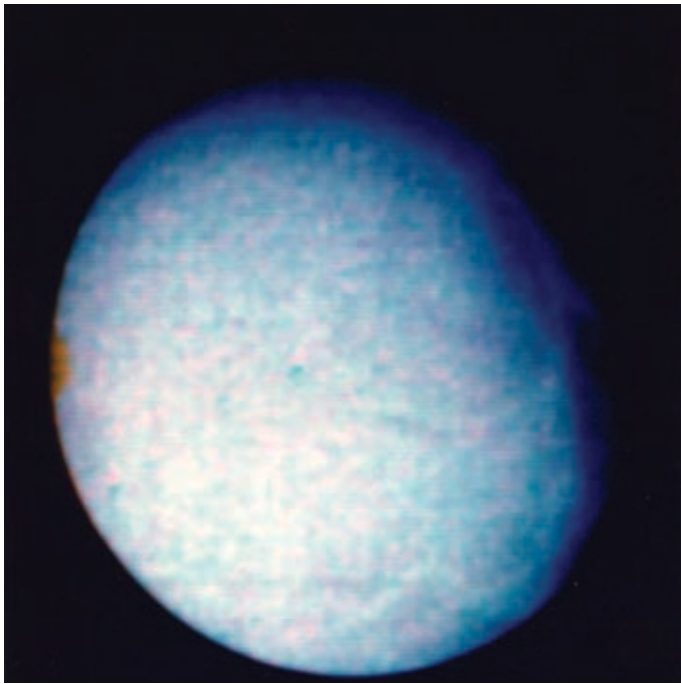
Спутник Сатурна Диона. Изображение получено с расстояния 695000 км.

Поэтому электропитание КА обеспечивается тремя радиоизотопными термоэлектрическими генераторами типа MHW-RTG фирмы General Electric, каждый из которых представляет собой устройство длиной 50.8 см, диаметром 40.6 см и массой 37.7 кг. В бериллиевом корпусе генератора содержится 24 сферы из двуокиси плутония-238 суммарной массой 4.5 кг, каждая из которых выделяет около 100 Вт тепловой энергии и разогревается теплом радиоактивного распада до 1000°C. Преобразование тепла в электричество осуществляется с помощью 312 кремний-германиевых термопар.

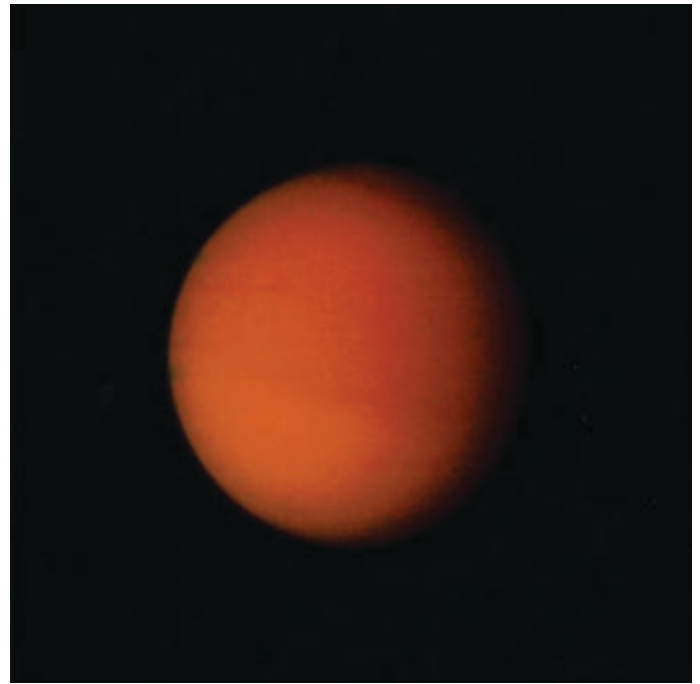
Такие миниатюрные, но мощные бортовые «атомные электростанции» предварительно были протестированы на спутниках LES-8 и LES-9. Выходная электрическая мощность одного генератора для «Вояджера» составляла 158 Вт при напряжении 30 В, а три вместе давали около 475 Вт при суммарной тепловой мощности около 7200 Вт. Однако эти величины не оставались постоянными, а убывали (и продолжают убывать) с каждым годом по мере распада радиоактивного вещества (период полураспада — 87.7 лет) и деградации



Сатурн в инфракрасном спектре. Фотография «Вояджер»



Спутник Сатурна Энцелад. Снимок получен с расстояния 655000 км

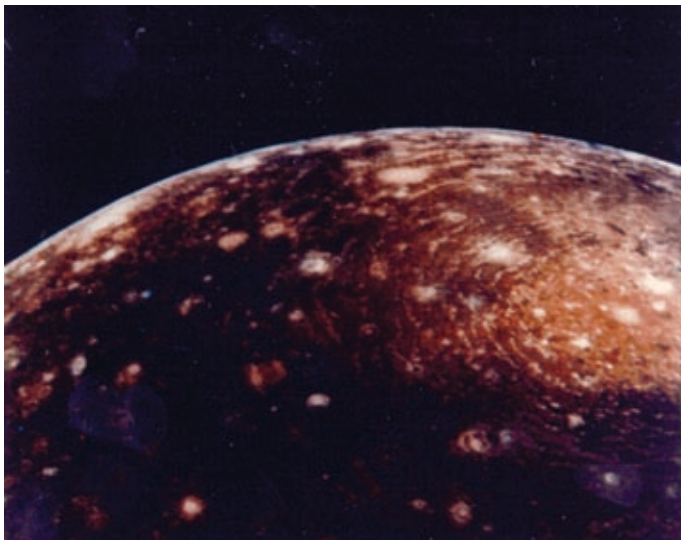


Наибольший спутник Сатурна — Титан. Фотография «Вояджер»

термопар. К моменту достижения «Вояджером-2» Нептуна электрическая мощность снизилась до 370 Вт, а сегодня едва достигает 285 Вт.

Электросистема «Вояджера» построена так, что расход электроэнергии не должен превышать прихода, а излишек мощности сбрасывается через шунт-радиатор. На обратной его стороне была размещена тестовая мишень для калибровки научной аппаратуры. По мере падения вырабатываемой мощности операторы вынуждены снижать электропотребление, сохраняя определенный запас (около 12 Вт) на ошибки в расчетах, скачки по питанию и т.д.

Распределенная компьютерная система КА Voyager состоит из трех дублированных компьютеров CCS, AACS и FDS, каждый из которых выполняет определенные функции. Суммарный объем памяти всех трех компьютеров — 32768 слов. С объемом памяти ближайшего персонального компьютера сравните сами!



Спутник Юпитера — Калисто. Снимок сделан с расстояния 350000 км. На нем различимы объекты размером в 7 км. Сам спутник имеет диаметр 4800 км и по размерам приближается к Меркурию. Фотография «Вояджер»

«Мозгом» КА Voyager можно считать компьютерную командную подсистему CCS (Computer Command Subsystem) с двумя идентичными процессорами, интерфейсами и необходимым ПО, изготовленную компанией General Electric в развитие аналогичной системы на орбитальном аппарате марсианской АМС Viking. Приведем некоторые параметры: память процессора — 4096 слов длиной по 18 бит, из которых 12 бит могут интерпретироваться как адрес для прямой адресации, а 6 бит — как команда. Арифметика с фиксированной точкой с числами от -131072 до +131071. Число регистров — 13. Средняя продолжительность выполнения одной инструкции — 88 мкс.

CCS отвечает за хранение и исполнение программ и команд управления аппаратом и научными приборами, принятых бортовым радиокомплексом и преобразованных в цифровую форму блоком дешифровки команд COU (Command Detector Unit), и осуществляет постоянный контроль состояния подсистем станции.

К примеру, если в результате какой-нибудь ошибки аппарат попытается расходовать больше электроэнергии, чем допустимо, CCS применит один из алгоритмов защиты от сбоев FPA (Fault Protection Algorithm) и отключит часть подсистем или приборов. Всего в CCS семь таких алгоритмов, и вместе они занимают около 20% памяти процессора. Именно они делают КА полуавтономным «роботом», способным на «самозащиту» в критических ситуациях. Если бы вместо этого «Вояджеры» по несколько часов ждали команд с Земли, они бы давным-давно вышли из строя.

В целом же распределение памяти было установлено таким: 2810 слов занимают постоянные программы для управления КА, а 1286 слов — загруженная с Земли текущая программа работы КА, охватывающая срок от одних суток во время сближения с планетой до месяца и более в режиме межпланетного перелета. Во время запуска свободными оставались всего два слова из 4096.

Доработанный и «ускоренный» вариант компьютера CCS является «сердцем» подсистемы ориентации и привода AACS (Attitude and Articulation Control System). Данная подсистема обеспечивает необходимую ориентацию и ста-



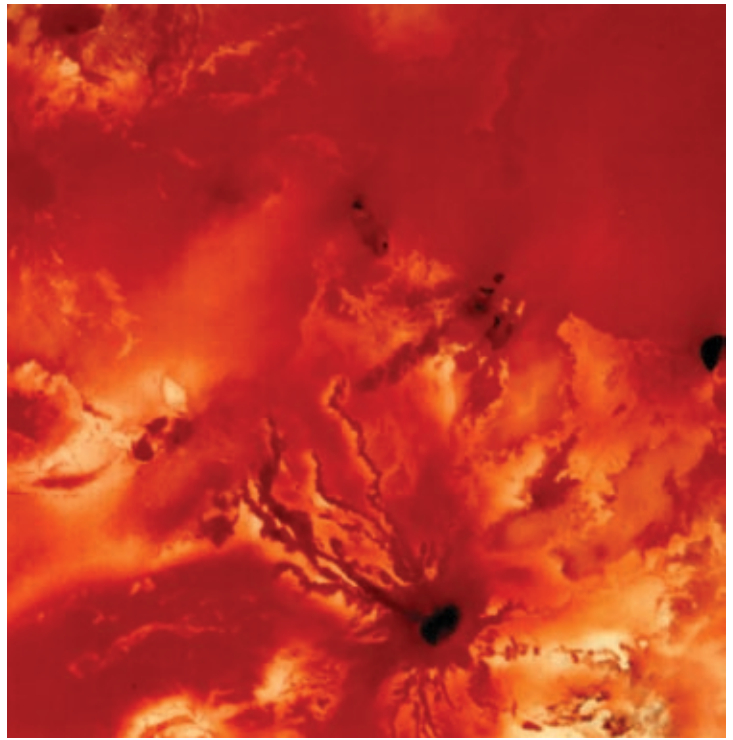
билизацию КА по трем осям либо стабилизацию вращением вокруг оси, направленной на Землю. Информация поступает от двух солнечных датчиков, датчика звезды Канопус CST, а также из инерциального измерительного блока DIRU. Имеется два режима ориентации — звездный и инерциальный. В первом случае аппарат использует для построения и поддержания ориентации Солнце и одну из ярких звезд (Канопус, Ригель Центаурус, Алькаид, Ахернар и др.). Инерциальный режим продолжительностью до нескольких часов реализуется в специальных случаях на основе данных блока DIRU. Подсистема AACCS отвечает также за наведение сканирующей платформы.

В качестве исполнительных органов этой системы служат 12 двигателей ориентации и 4 двигателя коррекции MR-103 тягой по 0.2 фунта (0.091 кгс). В первоначальный план полета было заложено восемь коррекций с суммарной характеристической скоростью 200 м/с.

Еще один специально разработанный в JPL компьютер входит в состав подсистемы летных данных FDS (Flight Data System). Она отвечает за сбор, хранение и форматирование служебной информации и данных с приборов. Первоначально два процессора компьютера FDS с памятью по 8192 двухбайтных слова дублировали друг друга; впоследствии на них возложили разные функции. Так, при пролете Урана первый процессор осуществлял избыточное кодирование и формировал «кадры» для отправки на Землю по радиоканалу, а второй специализировался на сжатии изображений для сокращения объема передаваемых данных.

Этот же компьютер управляет записывающим устройством DTR и работой научных приборов; в частности, в памяти FDS хранится таблица параметров съемки — значения экспозиции, номера фильтров и т.д.

Радиотехническая подсистема аппарата работает в двух диапазонах через общую антенну. Через приемопередатчик диапазона S (прием — около 2115 МГц, передача — около 2295 МГц, скорость передачи — до 2560 бит/с) на борт поступают команды, а на Землю передается служебная телеметрия — информация о состоянии «здоровья» КА. Через передатчик диапазона X (около 8415 МГц, скорость при пролете Юпитера — до 115200 бит/с) идут научные данные и наложенная на них служебная информация. Выходная

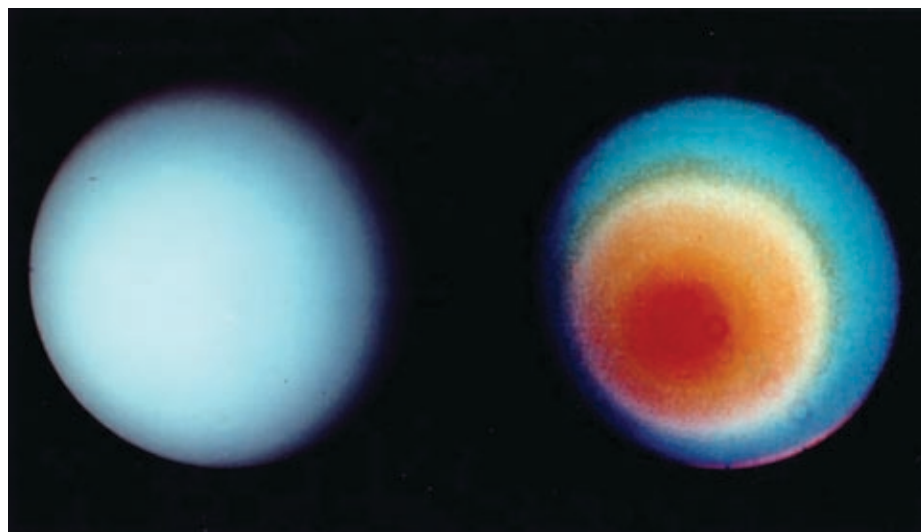


Фотография остатков вулкана на спутнике Юпитера — Ио. Темные области в районе кратера — это застывшая сера. Изображение было получено в то время, когда аппарат «Вояджер» проходил от Ио на расстоянии 130000 км.

мощность передатчика диапазона S задается на уровне 9 или 26 Вт, передатчика диапазона X — 12 или 22 Вт.

На облучателе антенны HGA установлена дополнительная антенна низкого усиления, используемая на начальном этапе полета и в аварийных ситуациях. Обе антенны имеют статус отдельной подсистемы. В паре с радиокомплексом работает подсистема модуляции-демодуляции с блоками дешифровки команд и модуляции телеметрии. Суммарная масса радиосистем — 105.4 кг.

По мере удаления от Земли пропускная способность радиопередачи падала. В X-диапазоне данные от Сатурна шли на скорости 44600 бит/с, от Урана — 29900 бит/с и от Нептуна — 21600 бит/с. Сейчас используются скорости 160 бит/с в нормальном режиме и 1400 бит/с при передаче записанных плазменных данных. При передаче в S-диапазоне доступно не более 40 бит/с, а скорость командной радиопередачи составляет 16 бит/с.



Фотографии Урана, сделанные «Вояджер» на расстоянии 9,1 млн. км. Фото слева показывает Уран, как если бы он был виден человеческим глазом с борта КА. Фото справа получено путем наложения ультрафиолетового, фиолетового и оранжевого фильтров, что позволило рассмотреть детали полюса Урана

В моменты, когда антенна HGA не направлена на Землю или КА находится за планетой, прямая передача данных невозможна; кроме того, «производительность» приборов может перекрывать возможности радиоканала. Поэтому Voyager имеет подсистему хранения данных и в ней — восьмидорожечное записывающее устройство DTR (Digital Tape Recorder) с цифровой записью на магнитную ленту общей емкостью 536 Мбит. Это позволяет сохранять одновременно до 96 снимков. DTR может работать в трех режимах: запись со скоростью 115200 бит/с, воспроизведение на 21600 бит/с и одновременное воспроизведение и запись на 7200 бит/с.

Общее количество подсистем КА — 10. Мы описали только наиболее важные из них.

Одним из условий утверждения проекта MJS-77, помимо упрощения конструкции и уменьшения срока службы аппарата, был отказ от заявленных требований по радиационной стойкости. Однако с учетом высоких уровней радиации, обнаруженных вблизи Юпитера аппаратами-разведчиками Pioneer-10 и -11 в 1973—1974 гг. (на три порядка выше, чем предсказывали специалисты!), новые станции пришлось отчасти перепроектировать под реальные радиационные нагрузки. Подбирались радиационно-стойкие элементы бортовой электроники, вводились поправки на их деградацию, наиболее важные места экранировались, и в результате «Вояджеры» могли благополучно миновать Юпитер, «набрав» дозу в 10000 раз выше смертельной для человека.

Интересно отметить, что каждый из «Вояджеров» состоит более чем из 65000 частей, а если мысленно «разобрать» процессоры и память на отдельные транзисторы, то общее количество элементов достигнет пяти миллионов. Аппарат уникальный по сложности — но и продуманный до мелочей. Без проблем и поломок, конечно же, не обошлось, но работает вся эта система уже четвертый десяток лет!

Стоит напомнить, что КА Voyager созданы в Лаборатории реактивного движения (JPL). Харрис «Бад» Шурмейер (Harris M. “Bud” Schurmeier) многоопытный руководитель проекта Ranger, посадочного аппарата миссии Voyager к Марсу и станций Mariner-6 и -7, исследовавших Марс в 1969 г., возглавлял с 1970 г. проект «Большой тур», а затем был первым менеджером проекта MJS-77. В 1976 г. его сменил Джон Казани (John R. Casani), в 1977 г. — Роберт Парке (Robert J. Parks), в 1979 г. — Реймонд Хикок (Raymond L. Heacock), в 1981 г. — Эскер Дэвис (Esker K. Davis), в 1982 г. — Ричард Лэзер (Richard P. Laeser), в 1987 г. — Норман Хейнс (Norman R. Haynes), в 1989 г. — Джордж Текстор (George P. Textor) и в 1998 г. — Эд Масси (Ed V. Massey), который руководит проектом и сегодня.

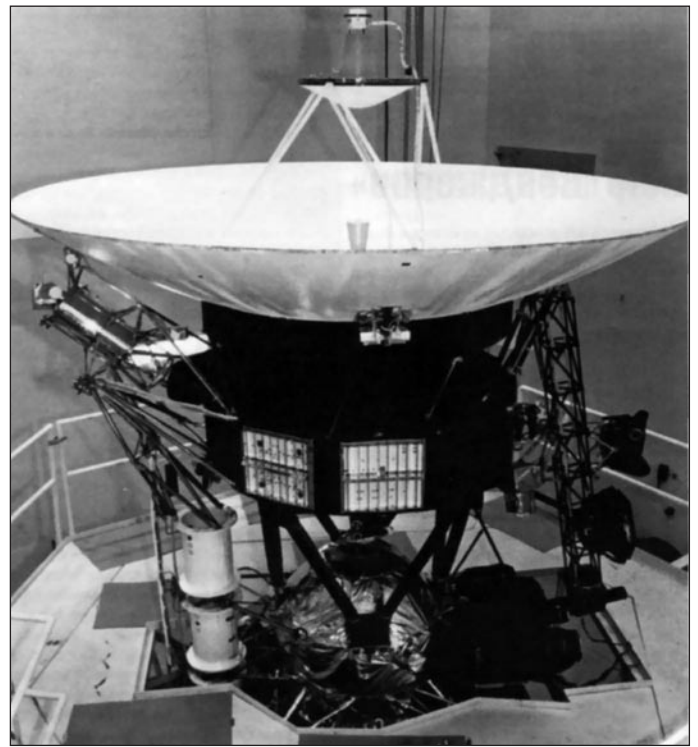
А научным руководителем проекта в 1972 г. стал 36-летний Эдвард Стоун (Edward C. Stone), постановщик эксперимента CRS по космическим лучам из Калифорнийского технологического университета. На протяжении 35 лет он остается на этом посту — еще один фантастический рекорд миссии Voyager! Помощником его на первых порах был уже упомянутый в первой части этой статьи Джим Лонг. В период исследования Юпитера эти обязанности перешли к Артуру Лейну (Arthur L. Lane), а от Сатурна и далее помощником была Эллис Майнер (Ellis D. Miner).

### Выбор пути и выбор имени

С момента утверждения проекта MJS-77 разработчики «держали в уме» возможность пройти всю трассу «Большого тура», до Нептуна включительно.

Летом 1974 г. Комиссия по космической науке предложила запустить в ноябре 1979 г. третий аппарат класса Mariner, направив его по трассе Земля — Юпитер — Уран. Станция MJU-79 должна была пройти мимо Юпитера в апреле 1981 г. и достичь Урана уже в середине 1985 г. Прелесть идеи состояла в том, что аппарат будет подходить к Урану со стороны одного из полюсов, имея возможность длительного наблюдения динамики полярных областей планеты. На этот дополнительный пуск требовалось 177 млн \$.

В мае 1975 г. NASA предложило ученым принять участие в проекте MJU-79 и намеревалось запросить на



Внешний вид КА «Вояджер»

1977 финансовый год средства на его реализацию. Однако общее состояние американского бюджета в период экономического кризиса и явное предпочтение Комиссии по космической науке проекту спутника Юпитера с зондом в его атмосферу (через 15 лет он будет запущен под именем Galileo) заставило агентство в сентябре 1975 г. исключить средства на MJU-79 из бюджетного запроса.

В конце 1975 г. руководители NASA согласились на компромисс, позволяющий в рамках проекта MJS-77 достичь Урана. Официально такая задача не ставилась, и деньги на увеличение ресурса КА с 4 до 12 лет не выделялись, но разработчикам было позволено «втихую» делать аппарат «с запасом» и было обещано не предпринимать никаких шагов, которые помешали бы полету одной из двух станций от Сатурна к Урану и даже к Нептуну. Помимо этого, агентство согласовало с Комиссией по атомной энергии требования к радиоизотопным генераторам, потребовав от них срок службы не менее 10 лет, а Конгресс выделил в 1973 ф.г. дополнительно 7 млн \$ на разработку перепрограммируемого в полете компьютера и средств избыточного кодирования информации. Без них полет к Урану и Нептуну вряд ли имел бы смысл.

В 1977 г. было официально объявлено, что если первый аппарат полностью выполнит программу исследований в системах Юпитера и Сатурна, включая близкий пролет Титана, а второй на подходе к Сатурну будет в добром здравии и с хорошими запасами расходуемых ресурсов, то траектория полета КА Voyager 2 будет изменена, и в результате гравитационного маневра у Сатурна он будет направлен к Урану.

Чтобы иметь такую возможность, нужно было соответствующим образом спланировать полет двух станций. Учитывая научные задачи проекта и особый интерес к спутникам Ио, Ганимеду и Титану, были утверждены две траектории с условными обозначениями JST и JSX.

Вариант JST предусматривал подробное знакомство со спутником Юпитера Ио и спутником Сатурна Титаном. Расчетной датой старта было 1 сентября 1977 г., пролет Юпитера планировался на 5 марта 1979 г., а Сатурна — на

13 ноября 1980 г. На этой «оптимальной» для науки траектории аппарат проходил на расстоянии 22000 км от Ио, через связанную с этим спутником «трубку», и 7000 км от Титана с возможностью изучения его атмосферы «на просвет».

Трасса JSX реализовывалась при запуске 20 августа 1977 г. с пролетом Юпитера 9 июля 1979 г. и Сатурна 27 августа 1981 г. Аппарат удавалось провести в 55000 км от Ганимеда, причем до сближения с Юпитером, а не после него, как в варианте JST. Если мартовская встреча с Юпитером оказалась бы для первой станции смертельной, июльский пролет давал второй шанс получить информацию по спутникам.

У Сатурна траектория JSX распалась на два подварианта. В случае, если бы исследования Титана в ноябре 1980 г. не удались, новый аппарат прошел бы на расстоянии 3,4 радиуса от центра планеты и в 15000 км от Титана. При отсутствии такой необходимости выбиралась прицельная дальность в 2,7 радиусов Сатурна, и станция могла проследовать к Урану. В первом подварианте такой возможности не было.

Это общая канва, а в реальности разработчики учитывали множество других ценных возможностей: радиопросвечивание атмосфер обеих планет и колец Сатурна, прохождение через «след» Титана, возможность съемки максимального количества галилеевых спутников Юпитера и т.д.

Запуск по траектории JST нужно было выполнить позже, но все события происходили раньше, чем в варианте JSX. Поэтому было решено первый из двух аппаратов запустить вторым по «базовому» варианту JST, а второй — первым по «резервному» пути JSX. Вот только как они будут называться?

Вплоть до начала 1977 г. проект сохранял буквенно-цифровое обозначение MJS-77; предполагалось, что после запуска аппараты будут названы Mariner-11 и Mariner-12. Однако разработчики резонно полагали, что их детище настолько сильно отличается от последних «Маринеров», что заслуживает нового имени. Директор JPL Уильям Пикеринг предложил назвать проект Navigator. Провели конкурс, и 4 марта 1977 г. было утверждено другое имя — Voyager. Кое-кому это показалось плохим знаком: так назывался нереализованный проект тяжелой марсианской станции, возродившийся в конечном итоге как Viking. Но кто сегодня помнит о том первом «Вояджере» — теперь это имя навсегда вписано в историю науки вместе с темой «Большой тур».

Итак, список научных приоритетов проекта Voyager в 1977 г. включал:

- гравитационные поля Юпитера и Сатурна и массы спутников;
- динамику атмосфер обеих планет;
- магнитосферы Юпитера и Сатурна, включая данные по магнитным полям, заряженным частицам и взаимодействиям волн и частиц;



Монтаж КА «Вояджер» в головную часть РН

- взаимодействие спутников (особенно Ио) с этой средой;
- энергетический баланс Юпитера и Сатурна;
- атмосферы, состав поверхности и детали Титана и галилеевых спутников Юпитера, а по возможности и других спутников;
- большое красное пятно Юпитера;
- кольца Сатурна;
- межпланетную и межзвездную среду;
- систему Урана, если до нее удастся добраться.

### Второй пошел...

Астрономическое окно 1977 г. открывалось 20 августа и продолжалось месяц. Но уже за год до этого, осенью 1976 г., на космодроме готовились к запуску «Вояджеров» две тяжелые ракеты Titan IIIE (другое обозначение — 23E) с кислородно-водородными верхними ступенями Centaur D-1T. 21 октября второй по порядку запуск носитель с заводским №6 был собран, а 4 января вывезен на старт для примерочных испытаний и пробного отсчета.

21 апреля и 19 мая два аппарата с условными обозначениями VGR77-2 и VGR77-3 (аппарат VGR77-1 остался в JPL в качестве испытательного стенда) были отправлены из Пасадены на мыс Кеннеди и прибыли туда через четверо суток. При испытаниях КА VGR77-2, который должен был стартовать первым, были выявлены проблемы с

компьютерами подсистем AACS и FDS. Чтобы избежать задержки пуска, было решено поменять аппараты местами. Однако на VGR77-2 уже были установлены наиболее эффективные радиоизотопные источники, так как именно он предназначался для полета к Урану и Нептуну. Их пришлось переставить на VGR77-3, к которому перешло и имя Voyager 2.

2 августа была собрана первая космическая головная часть, но при проверке выяснилось, что на VGR77-3 не работает детектор заряженных частиц ЛЕСР. Пришлось вновь снимать обтекатель и приводить в порядок прибор. На следующий день сборка КГЧ была повторена, и после успешной проверки VGR77-3 состыковали со ступенью Centaur D-1T за номером TC-7 и 5 августа доставили на стартовый комплекс LC-41 для установки на носитель.

Тем временем поиск неисправности на VGR77-2 выявил нестабильный по температуре резистор в компьютере AACS, и весь блок пришлось заменить изделием для контрольных испытаний. Отказ в компьютере FDS воспроизвести так и не удалось.

Voyager 2 стартовал в первый же день астрономического окна, 20 августа в 10:29:45 EDT (14:29:45 UTC) — с пятиминутной задержкой и не без проблем.

(Продолжение следует...)



П. Шаров, И. Лисов

Часть III

# «ВОЯДЖЕРЫ» УШЛИ К ЗВЕЗДАМ...

Продолжение. Начало в «Нит» №6 и №7, 2008 г.

## ЛИХА БЕДА – НАЧАЛО...

**V**oyager-2 стартовал 20 августа, в первый же день своего 30-суточного астрономического периода, в 10:29:45 EDT (14:29:45 UTC). Старт был задержан менее чем на пять минут от открытия стартового окна, — потребовалась проверка состояния одного из клапанов на носителе.

Нижние ступени 700-тонной ракеты успешно отработали свои 468 секунд, отделился Centaur с полезным грузом. Через 4 секунды два двигателя «Центавра» запустились и отработали 101 секунду, обеспечив довыведение на опорную круговую орбиту. После 43 минут пассивного полета Centaur включился вновь на 339 секунд и набрал отлетную скорость.

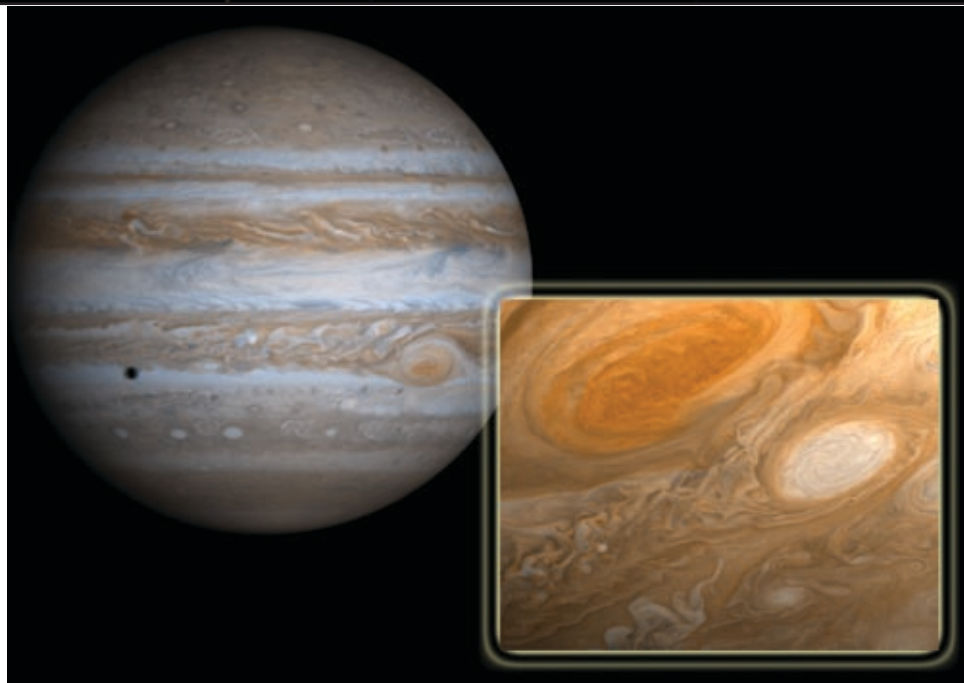
В соответствии с программой компьютер AACCS на борту «Вояджера-2» выдал необходимые команды, и через 89 сек после выключения двигателей (и 3680 сек после старта) от «Центавра» отделился полезный груз — связка из аппарата массой 825 кг и двигательного модуля TE-M-364-4 (Star-37E) массой 1220 кг.

Через 15 сек после отделения твердотопливный двигатель тягой 7800 кгс включился и отработал 45 сек, добавив к имеющейся скорости еще 1890 м/с. Только таким способом, используя «двухсполовинойступенчатый» «Титан», «Центавр» и дополнительный разгонный блок, удалось набрать скорость, необходимую для полета к Юпитеру! При отлете она составила около 15.2 км/с, а при выходе из сферы действия Земли — 10.3 км/с.

Выведение оказалось очень точным: траектория прошла в 280000 км от расчетной точки прицеливания, а время прибытия без коррекций было бы всего на 44 часа позже расчетного.

Управление полетом во время работы твердотопливного двигателя было обязанностью «Вояджера». Поэтому подсистема AACCS с самого начала полета отслеживала ориентацию с помощью гироскопов. Сразу же после разделения возникла кризисная ситуация.

Возмущение вследствие сброса РДТТ и последовавшая за ним «встряска» от развертывания штанг оказались неожиданно сильными, и аппарат начал беспорядочное вращение. «Успокоить» его и сориентировать на Солнце к 16:38 UTC должны были малые ЖРД ориентации, однако из-за ошибки в заложенных данных они не включились. Как оказалось, каждый из компьютеров CCS выдал в AACCS команду подготовки двигательной установки, и попытка исполнить обе команды лишь осложнила положение.



Юпитер и его красное пятно. Фотография «Вояджер-2»

В результате через 16 сек после отделения КА основной процессор AACCS отказался работать, и в дело вступил второй. Не имея (к счастью!) данных от гироскопов, он взялся за построение солнечной ориентации из неизвестного начального состояния. Поиск светила и успокоение аппарата заняли 3.5 часа и закончились закруткой на Солнце лишь к 20:00:30 UTC.

Анализируя состояние «Вояджера-2», операторы не нашли подтверждения раскрытия штанги научной аппаратуры: не сработал контакт, который должен был разомкнуться при угле 0.05° от расчетного. Лишь через 12 часов после старта, когда был включен плазменный инструмент, по направлению солнечного ветра стало ясно, что штанга находится в пределах 2° от штатного положения. В тот же день была включена большая часть приборов.

На 18-м часу полета аппарат испытал неожиданное возмущение по тангажу и рысканью. Аналогичный инцидент повторился 25 августа в 18:25 UTC. Были опасения, что из-за ненормального разделения двигательный модуль TE-M-364-4 остался вблизи аппарата и периодически соприкасается с ним. К счастью, удалось доказать, что никого «постороннего» рядом нет.

### Параметры гелиоцентрической орбиты станции по состоянию на 8 сентября составили:

- наклонение -1.03°;
- перигелий — 1.008 а.е. (150.8 млн км);
- афелий — 8.962 а.е. (1340.7 млн км);
- период обращения — 11.13 года.

24 августа аппарат наконец смог захватить Канопус, и Voyager-2 впервые построил трехосную ориентацию. Сделанные с борта станции снимки показали, что угол отклонения штанги от штатного положения не превышает  $0.06^\circ$ . 26 августа была предпринята попытка «подтолкнуть» штангу и поставить ее на замок за счет маневра по тангажу с одновременным отстрелом крышки спектрометра IRIS. Однако при составлении аппарата не учли, что аппарат воспримет эту операцию как опасную и прервет ее! Позднее крышка все-таки была отстрелена, да и в стабильность штанги операторы поверили.

К 1 сентября все приборы «Вояджера-2» были включены и проверены. Все оказались в норме, кроме фотополяриметра, в котором застряло колесо анализатора. В этот день аппарат перевели в режим межпланетного перелета, а 2 сентября погрузили «в спячку», — все внимание операторов переключилось на следующую машину.

### ПЕРВЫЙ — СЛЕДОМ...

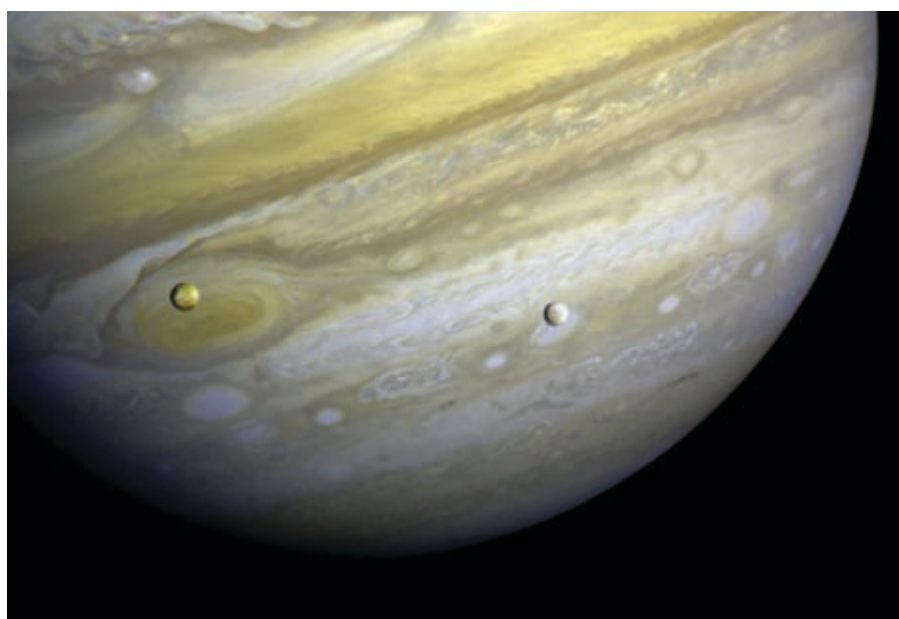
Второй пуск планировался на 1 сентября, однако дважды откладывался из-за проблем на борту «Вояджера-2». Головную часть пришлось разобрать, чтобы проверить на аппарате VGR77-2 механизм развертывания штанги и его индикацию. Для большей надежности инженеры дополнили штатную систему развертывания пятью пружинами и вновь укрыли «голову» обтекателем 29 августа. Еще через два дня станцию доставили на старт.

5 сентября в 08:56:01 EDT (12:56:01 UTC) второй носитель Titan-III с «Вояджером-1» ушел со стартового комплекса 11-41. Пуск состоялся вовремя, но прошел нештатно: из-за недостаточной подачи окислителя вторая ступень «Титана» недоработала, и скорость при разделении была на 165.8 м/с ниже расчетной. Компьютер «Центавра» учел это и продлил время работы двигателей в первом импульсе.

Отклонение траектории от точки прицеливания у Юпитера составляло 429000 км и +28 час 15.5 мин.

А ведь «Вояджером» повезло! Их траектории были выбраны так, что при втором пуске требовалась немного меньшая отлетная скорость, чем при первом, — примерно 15.1 км/с. На это ресурсов «Центавра» хватило впритык — после второго включения в баках ступени ТС-6 оставалось топлива на 3.4 сек работы. А если бы отказ «Титана» произошел не во втором пуске, а в первом, вывести Voyager-2 на расчетную траекторию не удалось бы...

Voyager-1, доставивший своим создателям так много хлопот перед запуском, в космосе работал как часы. Все элементы конструкции раскрылись (правда, при раскрытии штанги магнитометра КА перешел на запасной контур двигателей), ориентация по Солнцу и Канопусу была по-



Юпитер и два его спутника: Ио (слева) и Европа (справа). Фото «Вояджер-1» 13.02.79

строена. В течение первых двух недель были включены и проверены все приборы. 18 сентября в порядке калибровки аппаратуры станция сделала с расстояния 11.66 млн км серию красивых снимков Земли и Луны в одном кадре. На Землю их передали 7 и 10 октября.

11 и 13 сентября была проведена разделенная на два импульса коррекция траектории TCM-1. Расчетное суммарное приращение скорости было 15.3 м/с, но в обоих включениях оно оказалось на 22% меньше расчетного, предположительно из-за взаимодействия реактивных струй с элементами конструкции станции. Недостающие 2.5 м/с удалось скомпенсировать 29 октября при проведении коррекции TCM-1A, но уже с 15 сентября Voyager-1 числился в режиме перелета.

С 17 октября по 31 декабря 1977 г. сигналы «Вояджеров» принимала, помимо средств американской Сети дальней связи, германская 30-метровая антенна в Вайльхайме. Целью эксперимента было получение научных данных о связанных с Солнцем полях и частицах в период радиального выравнивания двух КА Voyager и двух западногерманских AMC Helios.

### КРИЗИС НА ПУТИ К ЮПИТЕРУ

А тем временем Voyager-2 продолжал «задавать жару» своим операторам. 23 сентября произошел отказ в электрических цепях подсистемы FDS, после которого перестали поступать 15 из 243 технических параметров состояния КА. Предпринятая 10 октября попытка восстановить работу FDS не удалась: выяснилось, что блок из 256 слов памяти процессора В потерян навсегда.

Это не помешало провести 11 октября коррекцию TCM-1 с выдчей импульса 13 м/с. Неудачный опыт станции №1 был учтен, и аппарат отработал коррекцию с точностью 1%. Она устранила начальную погрешность выведения и обеспечила выход КА к Юпитеру с прохождением мимо Ганимеда на расстоянии 60000 км.

Давление солнечного ветра постоянно пыталось нарушить ориентацию аппарата, заставляя AACCS расходовать драгоценное топливо на борьбу с этим возмущением. Чтобы сократить потери, 31 октября аппарат развернули

#### Параметры орбиты станции на 23 августа:

- наклонение —  $4.83^\circ$ ;
- перигелий — 1.003 а.е. (150.0 млн км);
- афелий — 6.276 а.е. (938.9 млн км);
- период обращения — 6.94 года.

«вверх ногами» — для этого в качестве опорной звезды вместо Канопуса был выбран Денеб. Так станция летела до 29 ноября, когда вновь построила ориентацию по Канопусу.

5-8 декабря проводилось тестирование бортовых программ аппарата, а 27-28 декабря он выполнил так называемый «научный разворот» с целью калибровки инструментов в ходе обзора неба. Маневр состоял из 10 оборотов вокруг оси рысканья и 26 оборотов по крену. Последний из них закончился на 20 сек раньше, чем ожидал компьютер, и Voyager-2 ушел в защитный режим. В результате 4 из 20 часов научных данных были потеряны, а дальнейший разворот для наблюдения Марса не состоялся.

2 февраля 1978 г. аппарат еще раз попал в защитный режим, случайно потеряв Канопус в самом конце сеанса связи — операторы этого не заметили. Однако в тот же день командами с Земли Voyager-2 был возвращен в штатное положение и 8 февраля впервые отснял Юпитер и его спутники с расстояния 437 млн км. Проводились также тестовые наблюдения Марса и Сатурна.

25 февраля было обнаружено, что фотополяриметр самопроизвольно переключает фильтры. Команду приведения прибора в исходное состояние колесо фильтров проигнорировало, но неожиданно выяснилось, что застрявшее ранее колесо анализатора ее выполнило. При тестировании 2 марта прибор работал без замечаний.

Еще в конце ноября 1977 г. на «Вояджере-2» было отмечено падение характеристик твердотельного усилителя передатчика диапазона S, и его пришлось ограничить работой на низком уровне мощности. Но наиболее серьезной оказалась новая проблема с радиокомплексом, с которой аппарат столкнулся весной 1978 г.

В самом конце марта на борту произошел отказ основного приемника (№1) командной радиолинии. 5 апреля, когда истекло семь суток с момента приема аппаратом последней команды, соответствующий алгоритм защиты инициировал переключение на запасной приемник (№2). К изумлению операторов, аппарат по-прежнему не реагировал на посылаемые ему инструкции: стало ясно, что он их не слышит. Через 12 часов в соответствии с логикой бортовой программы Voyager-2 сменил приемник еще раз. Первый заработал, и в течение 30 минут станция слышала Землю. После этого телеметрия показала мощный скачок по питанию, предохранители сгорели, и основной приемник был мертв!

А запасной... правильно, запасной осталась выключен: ведь несколько команд на борт прошли, таймер потери управления включился и отсчитывал очередные семь суток! Да и если бы приемник функционировал — какой толк, если 6 апреля в течение 12 часов до него так и не удалось «достучаться»?

С выходом из строя обоих командных приемников аппарат был обречен. Да, он будет «тупо» выполнять последнюю заложенную в него программу, но то, ради чего Voyager-2 запущен, сделать будет невозможно!

В течение суток после начала аварии, однако, удалось разобратся в ситуации и даже найти вероятного виновника. Анализ показал, что в запасном приемнике в контуре автоматической подстройки частоты гетеродина пробило конденсатор, и аппарат не может отслеживать частоту входящего с Земли радиосигнала.

Без автоматической подстройки запасной приемник мог «слышать» Землю в очень узком диапазоне относительно некоторой фиксированной частоты. Полуширина этого диапазона вместо 100 кГц составляла всего 96 Гц, что

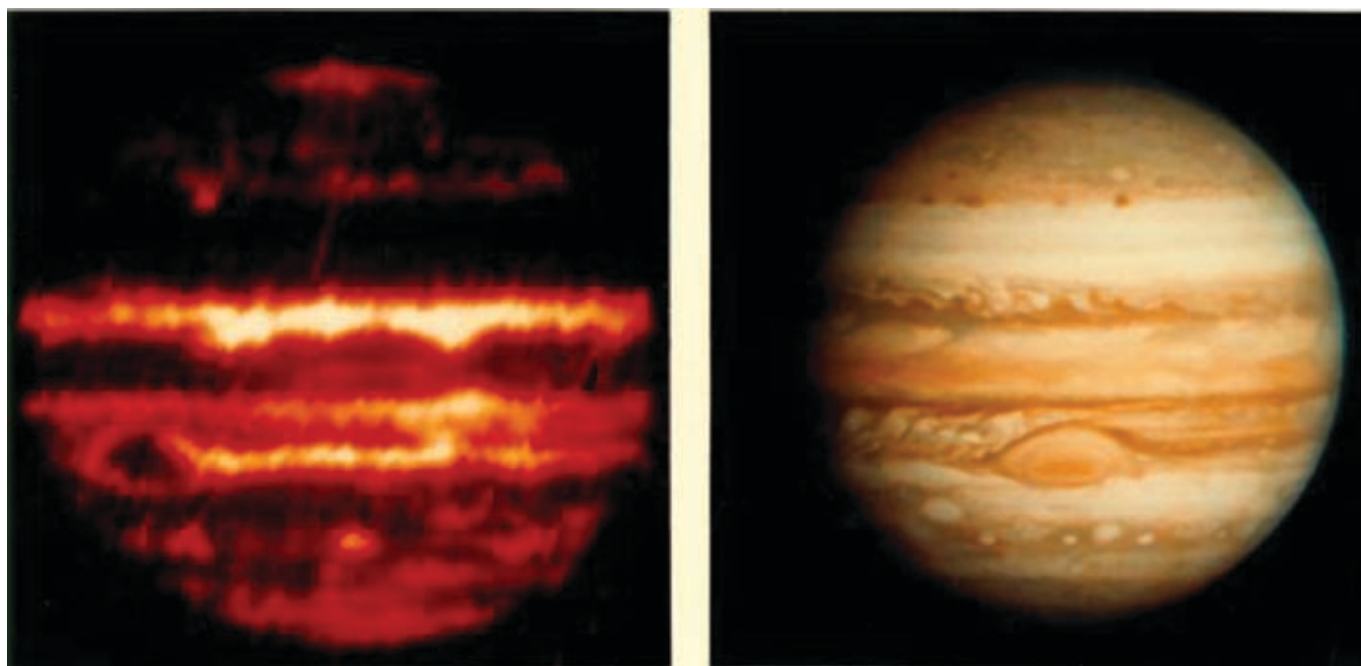


Фрагменты поверхности Юпитера крупным планом, снятые «Вояджер-1»

соответствовало изменению взаимной скорости лишь на 13 м/с!

Преднамеренно «испортив» имеющийся экземпляр приемника, разработчики радиокомплекса смогли выяснить, какова примерно эта «волшебная» частота. Появилась надежда «договориться» с бортом, посылая сигнал с Земли на медленно меняющейся частоте — так, чтобы это изменение и доплеровский сдвиг частоты взаимно компенсировались. В итоге аппарат должен был все время слышать Землю на «своей» неизменной частоте с минимальными отклонениями. К счастью, частотой передатчиков, работающих через антенны Сети дальней связи DSN, можно было управлять по такому закону.

13 апреля, когда семь суток прошли и вновь включился запасной приемник, с 64-метровой антенны станции 055-63 под Мадридом был отправлен поисковый сигнал. Частота его менялась со скоростью 2.4 Гц/с с расчетом «про-



**Инфракрасное изображение Юпитера показывает распределение температур в атмосфере планеты. Яркие области соответствуют высокой температуре. При сравнении инфракрасного изображения с обычным видно, что наблюдаемые на Юпитере кольцевые области имеют более высокую температуру, чем район полюсов**

шупать» полосу в 3000 Гц вокруг расчетной частоты борта. И аппарат услышал зов Земли — через 55 минут (из которых 53 радиосигнал шел туда и обратно) он подтвердил получение команды. Связь удалось поддерживать более четырех часов; реальная «волшебная» частота отличалась от расчетной примерно на 750 Гц.

18 апреля на борт были переданы уже 20 команд. Аппарату было приказано поднять мощность передатчиков до максимума; кроме того, были приняты меры к поддержанию стабильной температуры бортового приемника, потому что изменение ее всего на  $0.25^\circ$  уводило частоту из допустимого диапазона. Поиски оптимального режима связи продолжались много дней подряд. 24 мая через налаженную с таким трудом радиолинию впервые ввели новую программу компьютера CCS. По существу, так «Вояджером-2» и управляют по сей день — почти 30 лет! Аппарат греется и охлаждается, стареет и меняют свои характеристики радиодетали, а иногда приемник просто «глючит» и меняет частоту по неизвестным причинам, и станция вновь глохнет. Говорят, некоторые сотрудники JPL и DSN обладают даром угадывать, на какую частоту «ушел» приемник...

Конечно, уже в 1978 г. было ясно, что шансы выполнить программу на раненом аппарате невелики. Появилась сумасшедшая идея: использовать в качестве резерва приемник научного прибора РКА. Тест был проведен в сентябре 1978 г. на Стэнфордском радиотелескопе; выяснилось, что в принципе РКА способен принять сигнал с Земли на частоте 46.72 МГц, но мощность его будет недостаточна. Чтобы использовать этот канал, нужно было построить специальную передающую станцию (а это 10 млн \$ и два года) и капитально перепрограммировать бортовые компьютеры. Руководители проекта Voyager решили, что выходить с таким запросом «наверх» нецелесообразно.

В октябре 1978 г. в память компьютера «Вояджера-2» была заложена аварийная программа BML (Back-up Mission Load), позволяющая аппарату провести хотя бы минимум исследований у Юпитера и у Сатурна и доложить результаты на Землю даже в случае полного отказа командной ра-

диолинии. Потом она не раз обновлялась под новые задачи изучения Сатурна, Урана и Нептуна...

Да — было бы неверно думать, что все неприятности достались лишь одной станции. В то время как «Вояджер-2» страдал от отказов служебных систем, на «Вояджере-1» начались сбои научной аппаратуры и обеспечивающих ее элементов. 13 декабря 1977 г. он провел картирование туманности Ориона с помощью УФ-спектрометра и фотополляриметра, но чувствительность последнего оказалась намного ниже расчетной. А в феврале 1978 г. неприятности посыпались одна за другой.

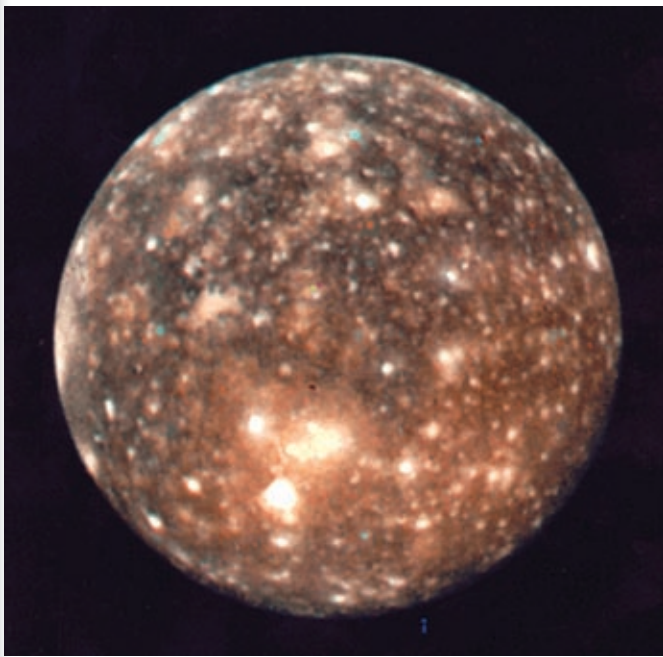
17 февраля Voyager-1, сделав 10 оборотов по рысканью в ходе обзора неба, не обнаружил Солнце в поле зрения солнечного датчика: оказалось, аппарат «недовернул» на  $24.5^\circ$ ! Естественно, компьютер CCS прервал эксперимент и перевел станцию в закрутку на Солнце. Сначала в сбое подозревали гироскопы, но выяснилось, что виноваты программисты — вместо фактического масштабного множителя они взяли число из документации. По командам с Земли аппарат вернули в норму.

В тот же день выяснилось, что значительно ухудшилась чувствительность трех основных детекторов плазменного инструмента PLS. Борьба с этой неисправностью была долгой, но 18 мая все-таки завершилась успехом.

Наконец, 23 февраля при калибровке сканирующей платформы застрял азимутальный привод — вероятно, в механизм при сборке попал кусочек тефлона. 17 марта были сделаны три поворота платформы на минимальной скорости, и если в первом она двигалась рывками, то второй и третий отработала без замечаний. По-видимому, посторонний предмет удалось «выпихнуть». Тестирование в разных режимах проводилось в последнюю неделю марта и в первых числах апреля и не выявило новых проблем.

## ЦАРЬ ПЛАНЕТ

**Б**лагодаря мощному носителю и высокой скорости полета межпланетное путешествие «Вояджеров»



**Спутник Юпитера Каллисто. Светлые пятна указывают на места падения метеоритов, которые нарушили темный поверхностный слой. Фото «Вояджер-2» 7.07.1979г. получено с расстояния 2,3 млн. км**

было быстрым. 10 декабря 1977 г. оба аппарата пересекли условную границу пояса астероидов на расстоянии 2.0 а.е. от Солнца. Еще через пять суток, когда две станции находились на расстоянии 124.7 млн км от Земли и 17 млн км друг от друга, Voyager-1 обошел своего собрата и навсегда вырвался вперед в долгом путешествии к границам Солнечной системы. Достигнув отметки 3.6 а.е. от Солнца, он невредимым вышел из пояса астероидов 8 сентября; Voyager-2 достиг этого рубежа лишь 21 октября 1978 г.

Встреча КА Voyager-1 с Юпитером была назначена на 5 марта 1979 г. Несмотря на четырехдневную задержку старта, траектория станции почти не отличалась от той, что была рассчитана еще на Земле. Между прочим, навигационная группа, обеспечивавшая полет станции в JPL, насчитывала 20 человек. Для определения положения КА, помимо радиоизмерений дальности и скорости, применялась оптическая навигация: съемка спутников Юпитера на фоне звезд с обработкой этих изображений на Земле. Для этого пришлось подготовить специальный высокоточный звездный каталог.

Первые снимки Юпитера аппарат сделал в апреле 1978 г. с расстояния 265 млн км. 10-11 декабря, уже с расстояния 83 млн км, Voyager-1 снимал Юпитер в течение двух оборотов планеты вокруг оси с целью поиска интересных деталей. Была проведена калибровка солнечных датчиков, сканирующей платформы и оптики, а 12-14 декабря состоялся 39-часовой «прогон» программы сближения с планетой. 29 декабря был проведен тестовый разворот КА на 360°: проверялась соосность антенны НСА с осью вращения.

На рождественские каникулы большую часть участников проекта от-

пустили отдохнуть, а 4 января 1979 г. все были на своих местах: началась фаза наблюдений Юпитера. До планеты оставалось 60 млн км и 60 дней пути.

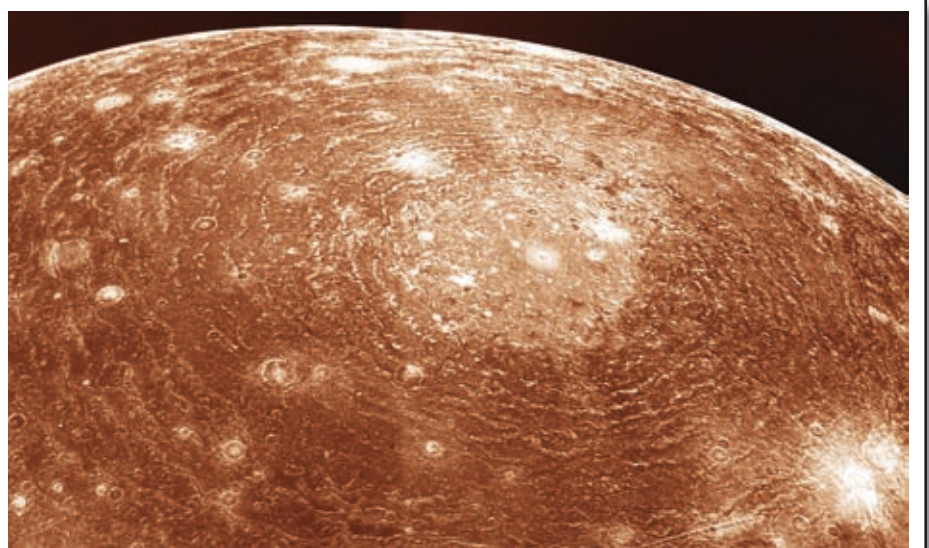
Почти месяц аппарат фотографировал Юпитер в цвете: раз в два часа он делал четыре кадра планеты за разными светофильтрами. Параллельно вели свои измерения ультрафиолетовый и инфракрасный спектрометры, а фотополариметр наблюдал ионы натрия в окрестностях Ио. Межпланетную среду исследовал весь комплекс электромагнитных и плазменных измерений.

В течение четырех дней с 30 января по 3 февраля проводилась непрерывная съемка «мультифильма» из жизни планеты — кадры шли с интервалами в 96 сек с круглосуточной прямой передачей на Землю в X-диапазоне через три 64-метровые антенны сети DSN. Планета была уже рядом: 10 февраля аппарат прошел орбиту Синопе, самого далекого спутника Юпитера, обращающегося в 23 млн км от него. Юпитер уже перестал влезать в кадр узкоугольной камеры; пришлось перейти к мозаикам 2x2, а с 21 февраля — 3x3. В этот же день аппарат провел подлетную коррекцию траектории TCM-4.

Съемкой Каллисто 18 февраля было начато прямое исследование спутников Юпитера. Кстати сказать, всего Voyager-1 сделал в системе Юпитера около 18800 снимков двумя телекамерами. Для сравнения: фотополариметры КА Pioneer-10 и Pioneer-11 сделали в общей сложности около 1000 кадров, из них на 60 и 28 соответственно был запечатлен Юпитер. Удачные же снимки спутников считали по пальцам одной руки: Ио — один, Европа — один, Ганимед — два, Каллисто — несколько штук.

28 февраля около 15:00 UTC на расстоянии 6 млн км от Юпитера аппарат вошел в ударную волну — место встречи солнечного ветра с магнитосферой планеты. Через несколько часов «порыв» солнечного ветра придвинул границу ближе к планете, и Voyager-1 опять оказался в межпланетной среде. Соревнование с Солнцем продолжалось три дня и, естественно, закончилось в пользу «Вояджера»: 3 марта на расстоянии 3.4 млн км (47 радиусов Юпитера) он преодолел ударную волну и прошел магнитопаузу в третий и последний раз.

Сближение с планетой аппарат обрабатывал по жесткой программе, записанной в памяти бортовых компьютеров. Одной из научных задач был поиск колец вокруг Юпитера. Это сейчас мы знаем, что кольца есть не только у Сатурна, но и у трех остальных больших планет; тогда же сенсацией



**Кольцевая структура кратера Вальгалла на Каллисто. Фото «Вояджер-1»**



было открытие 10 марта 1977 г. наземными средствами колец Урана. И вот на снимке, сделанном 4 марта через телеобъектив с выдержкой 11.2 мин на фоне «пустого» космоса, было найдено тонкое, почти невидимое с Земли кольцо Юпитера. Внешний его край лежал в 57000 км над облачным покровом планеты, внутри орбиты Амальтеи. Ширина кольца составляла 6500-8700 км, толщину оценили не более чем в 30 км.

Аппарат изучил в мельчайших деталях Большое красное пятно (БКП), грандиозный долгоживущий атмосферный вихрь в южном полушарии планеты, который был «официально» открыт и описан за 101 год до этого, но на самом деле наблюдался еще Робертом Гуком в 1664 г. Voyager-1 выяснил, что вращение в этом антициклоне протяженностью 21000 км с запада на восток и 11000 км с севера на юг происходит с периодом около шести суток, а скорость ветра превышает 300 м/с. Наиболее подробная «фотосессия» БКП состоялась за 8 часов до момента прохождения перииовия и представляла собой мозаику из 81 кадра; наилучшее разрешение достигало 5 км. Пятно оказалось на 5°C холоднее, чем средняя температура верхней атмосферы (160 К).

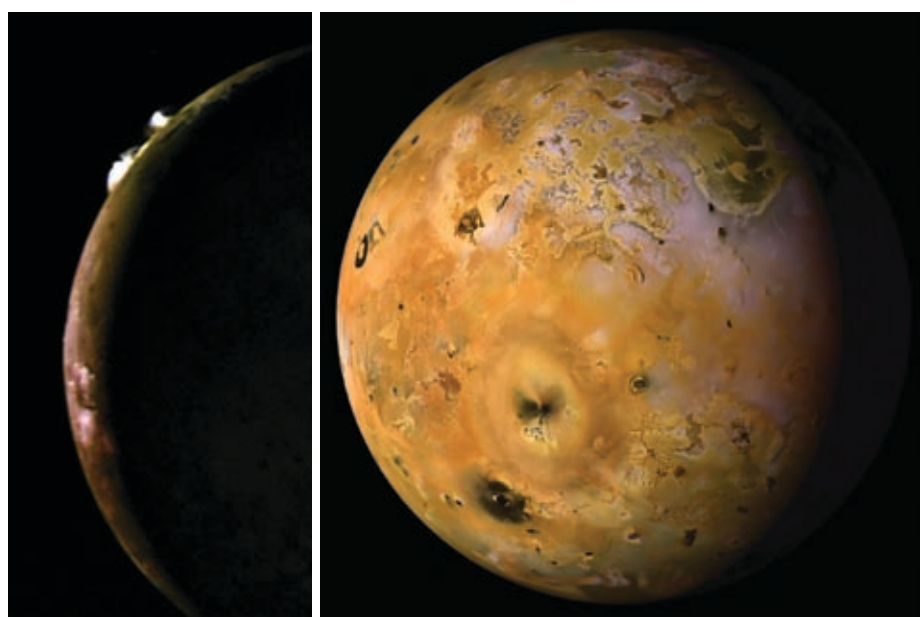
Наблюдались и три меньших по размеру белых пятна, появившихся в южном полушарии Юпитера примерно за 40 лет до прилета «Вояджера». Оказалось, что они весьма сходны по структуре с БКП и отличаются лишь размером и цветом.

Пройдя за полтора года 998 млн км, 5 марта в 12:05:26 UTC по бортовому времени Voyager-1 прошел на минимальной высоте около 277600 км над экваториальной областью Юпитера, т.е. на расстоянии 4.888 радиуса от центра планеты. Если бы на борту станции находился космонавт, он получил бы за время пролета радиационную дозу в 400000 рентген. Электроника «Вояджера» — выдержала.

Менее чем через четыре часа станция последовательно вошла в радиотень и в тень Юпитера. Измерения ИК-спектрометром и радиопросвечивание атмосферы при заходе «Вояджера» за планету принесли информацию о ее химическом составе: основные составляющие — водород и гелий (11% по объему), малые — аммиак, метан и дейтерированный метан, этилен, ацетилен, этан, циано-водород, окись и двуокись углерода, пары воды и такие необычные соединения, как тетрагидрид германия  $GeH_4$  и фосфин  $PH_3$ . Возможно, именно фосфин, поднимающийся из глубины и разлагающийся с выделением красного фосфора, «отвечает» за цвет БКП.

Внешний слой облаков состоял из твердого и жидкого аммиака, ниже находился слой из сернистокислого аммония, еще ниже — «обычные» водяные облака. Верхняя атмосфера северного полушария оказалась немного теплее, чем южного. Широтные ветры ураганной силы — до 150 м/с — доминировали в картине атмосферной циркуляции вплоть до 60° широты.

Во время двухчасовой тени аппарат сделал единственный снимок ночной стороны Юпитера со 192-секундной экспозицией. Широкоугольный объектив аппарата запечатлел яркую полосу полярного сияния длиной 29000 км



Спутник Юпитера Ио. Слева — фото извержения вулканов, полученное «Вояджер-2» 9.07.1979 г.

и 19 светлых пятен — предположительно разрядов гигантских юпитерианских молний. Да и низкочастотные радиосигналы от Юпитера очень напоминали «свисты» электрических разрядов в земной атмосфере.

В 15:13:21, за полчаса до тени, аппарат пронесся над южным полюсом Ио на высоте всего 19000 км. Траектория «Вояджера» была проложена сквозь плазменную «трубку», соединяющую этот спутник с планетой, но аппарат прошел в стороне от нее. Не потому, что ошиблись навигаторы, а потому, что ионы натрия и серы переносили по трубке ток в 5 млн ампер — впятеро больше, чем показывали теоретические модели. Из-за этого трубка проходила в 7000 км от расчетного положения!

Voyager-1 сделал 14 кадров, на которые попало около 1/3 обращенной к планете стороны Ио. Из детальных снимков сразу стало ясно, что богатая соединениями серы желто-красная поверхность Ио с горными пиками, обрывами, каньонами и трещинами — очень свежая и сформирована недавними вулканическими процессами.

Самое же интересное посчастливилось найти Линде Морабито (Linda A. Morabito) — не ученому, а простому инженеру-навигатору JPL. В пятницу 9 марта при компьютерной обработке специально пересвеченного навигационного снимка Ио, сделанного накануне на отлете с расстояния 4.5 млн км, она увидела странный полупрозрачный выступ, поднимающийся над поверхностью спутника аж на 270 км. Потрясенные специалисты смогли найти лишь одно объяснение: вулкан в процессе извержения, выбрасывающий вещество со скоростью до 1 км/с!

В понедельник Джозеф Веверка (Joseph Veverka) и Роберт Стром (Robert Strom) из «видовой» группы перерыли остальные кадры — и нашли еще несколько выбросов с Ио меньшего масштаба. В общей сложности их оказалось девять, считая комплекс Локи за два разных вулкана. Одновременно принесла свои результаты ИК-группа Джона Перла (John Pearl): на Ио имеются «горячие» точки, и самая «инфракрасная» из них на 200 градусов теплее, чем очень холодная (порядка 100 К) поверхность спутника. Надо ли говорить, что подозрительные области совпали!

Так в Солнечной системе было найдено второе после Земли тело с современным вулканизмом, порождаемым

приливным разогревом недр под действием Юпитера, Европы и отчасти — Ганимеда. Стоит отметить, что вулканы на спутниках больших планет, как и кольцо Юпитера, были предсказаны в 1960 г. советским астрономом С.К. Всехсвятским.

Voyager-1 подтвердил существование плазменного тора Ио и облаков ионов натрия и серы вулканического происхождения вдоль ее орбиты. Что интересно (и странно), пятью годами раньше приборы «Пионеров» горячей плазмы в магнитосфере не видели.

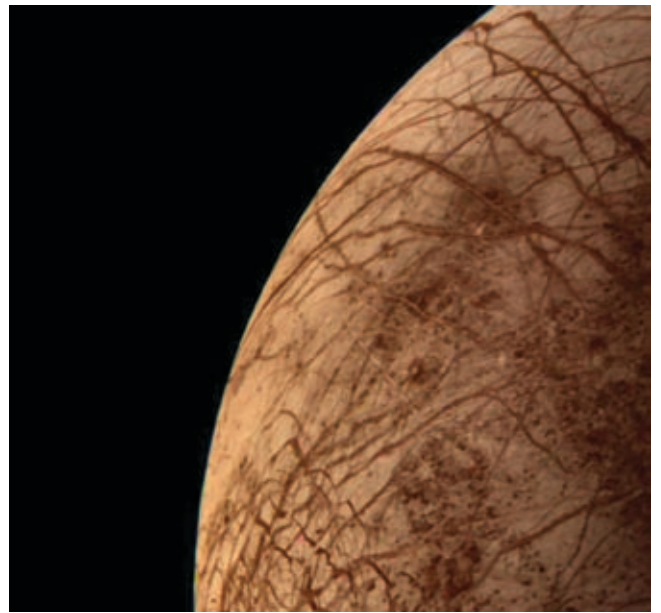
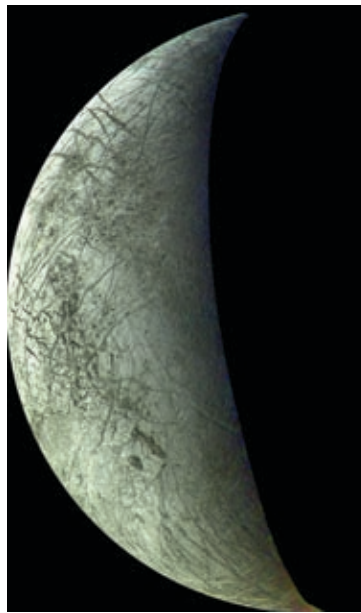
Из галилеевых спутников дальше всего станция прошла от Европы. Но и с дистанции в 3/4 миллиона километров была видна сеть пересекающихся темных линейных деталей со «штрихами» шириной в десятки и длиной в тысячи километров. Ганимед оказался похож на Луну с ее кратерами и лучевыми системами, если не считать нескольких районов «вспаханной» поверхности с параллельными гребнями и трогами шириной до 15 км. Быть может, это признаки тектоники плит, как на Земле? А на Каллисто, которую аппарат обошел с севера, помимо бесчисленных кратеров были выявлены гигантские концентрические кольцевые структуры, крупнейшая из которых получила имя Вальгалла.

Наконец, впервые были получены информативные снимки Амальтеи, которая оказалась красноватым, сильно вытянутым спутником — 270 км вдоль длинной оси и 150 км вдоль короткой.

С удалением 6 марта от Каллисто программа пролета была в основном завершена. Когда уходящая станция пересекла на расстоянии 5 млн км от планеты границу между магнитосферой и солнечным ветром, детектор заряженных частиц низкой энергии обнаружил плазменную оболочку, частицы которой — ионы серы, кислорода и натрия — имеют температуру 350-400 млн К, что на два порядка выше температуры солнечной короны. Свою энергию частицы, очевидно, получают вследствие взаимодействия быстро вращающегося магнитного поля планеты с солнечным ветром. Плотность оболочки была очень низкой, и АМС не получила при прохождении через нее никаких повреждений.

Единственной потерей при пролете стал фотополяриметр, который отказал 5 марта. При тестировании в начале декабря 1979 г. стало окончательно ясно, что прибор почти полностью перестал реагировать на свет.

Каковы же были итоги пролета с точки зрения баллистики? Максимальная скорость КА относительно Юпитера составила 28.7 км/с и снизилась при удалении от планеты до 11.6 км/с. Гелиоцентрическая же скорость на подлете была близка к 13.3 км/с, достигла максимума в 37.1 км/с через 1 час 45 мин после периооивия и уменьшилась к концу марта до 23.5 км/с. Таким образом, Voyager «выиграл» от встречи с Юпитером по крайней мере 10.2 км/с, не считая «бесплатного» разворота в сторону новой цели! После Юпитера его орбита из эллиптической превратилась в гиперболическую.



Спутник Юпитера Европа. Фото получено «Вояджер-2» в 1979 г.

9 апреля аппарат провел коррекцию траектории, нацелившую его на Сатурн, и с 13 апреля перешел в режим полета с регулярными измерениями параметров межпланетной среды.

Все внимание операторов и ученых теперь было уделено «Вояджеру-2», который провел пятисуточную репетицию пролета и 25 апреля начал наблюдения планеты, невзирая на проблемы. Тем не менее результаты новой встречи с Юпитером были замечательны.

Четырехмесячный интервал между прибытием двух станций — 5 марта и 9 июля — позволял откорректировать программу исследований в случае неудачи первого аппарата или дополнить ее по результатам «Вояджера-1». И два открытия действительно заставили изменить первоначально спроектированный вариант пролета: кольцо Юпитера и вулканы Ио. Однако с точки зрения баллистики он остался неизменным: пролет над умеренными южными широтами планеты на вдвое большем расстоянии от нее (10.11 радиусов от центра Юпитера против 4.89 у первой станции) и в условиях меньших радиационных нагрузок.

Коррекция 27 июня окончательно направила Voyager-2 по заданной траектории. 2 июля на расстоянии в 99 радиусов (7.1 млн км) станция прошла ударную волну. Таким образом, в этот день «шар» магнитосферы Юпитера был в 10 раз больше Солнца.

Две камеры станции сделали более 14900 снимков. Аппарат выявил заметные изменения в атмосфере Юпитера, хотя «глобальный» рисунок облачного покрова не изменился. Были замечены встречные движения Большого красного пятна (0.26° в сутки на запад) и одного из «белых овалов» вблизи него (0.35° в сутки на восток). Пятно стало менее красным, а наблюдавшиеся с «Вояджера-1» завихрения вокруг этого объекта пропали. Второй аппарат обнаружил белое облако, образовавшееся восточнее пятна и простирающееся до его северного края. Это облако препятствовало циркуляции более мелких образований.

В отличие от «Вояджера-1», съемка спутников была запланирована до перицентра и со стороны того полушария, которое обращено от Юпитера. Главное внимание было уделено Европе, от которой второй аппарат прошел втрое ближе, чем первый. Он сблизился с ней за 4.5 час до периооивия; разрешение снимков было в восемь раз лучше, чем у

«Вояджера-1». Глазам изумленных планетологов предстал очень ровный и гладкий (с «сопками» высотой не более 50 м) ледяной шар, практически лишенный ударных кратеров, но имеющий целую сеть темных и светлых линейных трещин в ледяной коре.

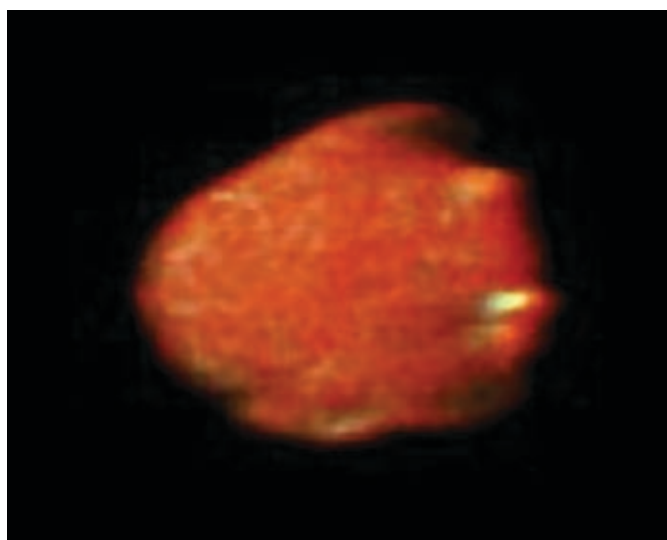
Модель Европы, которая была построена по результатам «Вояджеров», выглядит так: молодой лед по трещинам выходит на поверхность и быстро скрывает все следы метеоритной бомбардировки. Под ледяной корой лежит океан глубиной до 50 км, и вода в нем могла быть вполне пригодной для зарождения жизни. Ну и внутри — силикатное ядро.

Вулканическую Ио станция наблюдала уже после прохождения перигея и с почтительного расстояния в 1.13 млн км и более. За 10 часов было сделано около 200 снимков, из которых затем сложили «мультифильм». Из девяти вулканов, найденных первым аппаратом, один оказался на невидимой стороне, семь продолжали извергаться, а вулкан Пеле, который открыла Линда Морабито, перестал действовать. Нашлись также следы еще одного извержения, состоявшегося в интервале между 5 марта и 9 июля 1979 г. Было сделано радиопросвечивание тора Ио.

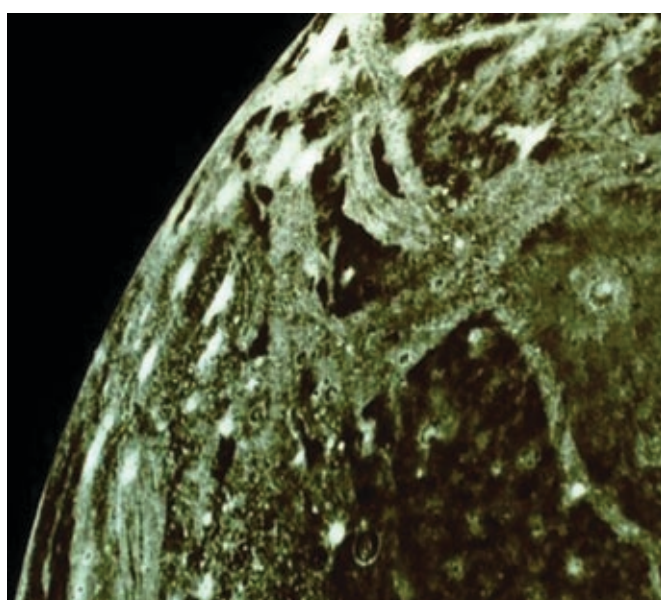
На снимке, полученном 8 июля, астрономы Дэвид Джуитт (David C. Jewitt) и Эдвард Дэниелсон (G. Edward Danielson) нашли неизвестный ранее 14-й по счету спутник Юпитера. Он получил временное обозначение 1979 Л, а ныне носит имя Адрастея. Это был довольно темный объект (альбедо 0.05) величиной около 30 км, орбита которого лежала внутри орбиты Амальтеи, у внешнего края кольца.

В ходе поиска этого объекта на других снимках «Вояджеров» к апрелю 1980 г. Стивен Синнотт (Steven P. Synnott) обнаружил еще два неизвестных спутника Юпитера -1979 32 (Теба) диаметром до 45 км и 1979 33 (Метида, 20 км).

Кольцо Юпитера станция наблюдала 10 и 11 июля. В проходящем солнечном свете оно оказалось достаточно яр-



**АМАЛЬТЕЯ** — Маленький спутник Юпитера (номер V), открытый Э.Э. Барнардом в 1892г. Размеры 131 x 73 x 67 км, среднее расстояние от Юпитера 181 400 км, период обращения 0,498 сут. Изображения, полученные «Вояджером-1», показали Амальтею как красноватый объект, формой напоминающий картофелину. Поверхность покрыта кратерами, а самая большая впадина, «Пэн» (сковорода), имеет диаметр в 90 км. Красный цвет, как полагают, объясняется наличием соединений серы, унесенных со спутника Ио



**Ганимед с расстояния в 240000 км. На фото, полученном с «Вояджера», видны ледяные полосы, в разных направлениях пересекающие поверхность спутника, а также светлые ударные кратеры**

ким и при этом очень тонким — максимум 1 км. Очевидно, кольцо сложено частицами микронного размера, способными рассеивать свет. Внутри яркого кольца, найденного первой станцией, прослеживалось второе, более темное, кольцо, которое могло простирались до облачной поверхности планеты.

В 1986 г. после нового анализа данных «Вояджеров» была найдена третья кольцевая структура, внешняя по отношению к яркому кольцу. Неудивительно, что кольца Юпитера не видели до того с Земли: они задерживают лишь одну миллионную проходящего света и в 10000 раз «прозрачнее» лучшего стекла.

В течение всего пролета уровни радиации были выше ожидаемых. Получил новые повреждения фотополяриметр: колесо анализатора самопроизвольно повернулось на несколько позиций, а колесо фильтров стало пропускать каждое второе положение. В остальном аппарат не пострадал.

9 июля, в день встречи с Юпитером, станция выполнила включение двигателей на 76 мин; таким образом, это был совмещенный гравитационно-активный маневр. Максимальная скорость КА относительно планеты составила 20.2 км/с. Гелиоцентрическая скорость вдаль от Юпитера увеличилась вдвое — с 9.8 до 19.9 км/с, а максимальное ее значение составило 26.9 км/с.

23 июля Voyager-2 провел коррекцию траектории полета к Сатурну. Путь его пролегал в общем направлении хвоста магнитосферы Юпитера, который оказался чрезвычайно длинным — по крайней мере 5 а.е., то есть до орбиты Сатурна!

С конца августа до середины сентября 1979 г. оба аппарата находились за Солнцем. Но в это время в Пасадене и в Моффетт-Филд был другой повод для напряженной работы: к тому же Сатурну впервые приблизился аппарат-разведчик Pioneer-11.

*Продолжение следует...*