# Вояджер – путешественник к внешним планетам и в межзвёздное пространство

(текст оригинальной статьи: http://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/voyager.pdf)



Космические аппараты-близнецы Вояджер 1 и Вояджер 2 были запущены NASA в разные месяцы лета 1977 года с мыса Канаверал, Флорида. Являясь аппаратами оригинальной конструкции, Вояджеры предназначались для близкого изучения Юпитера и Сатурна, колец Сатурна, а также самых больших спутников обоих планет. На сегодняшний день, более чем 35 лет спустя, они вдвоем исследовали четыре планеты, а Вояджер 1 в настоящий момент движется через пространство между звездами.

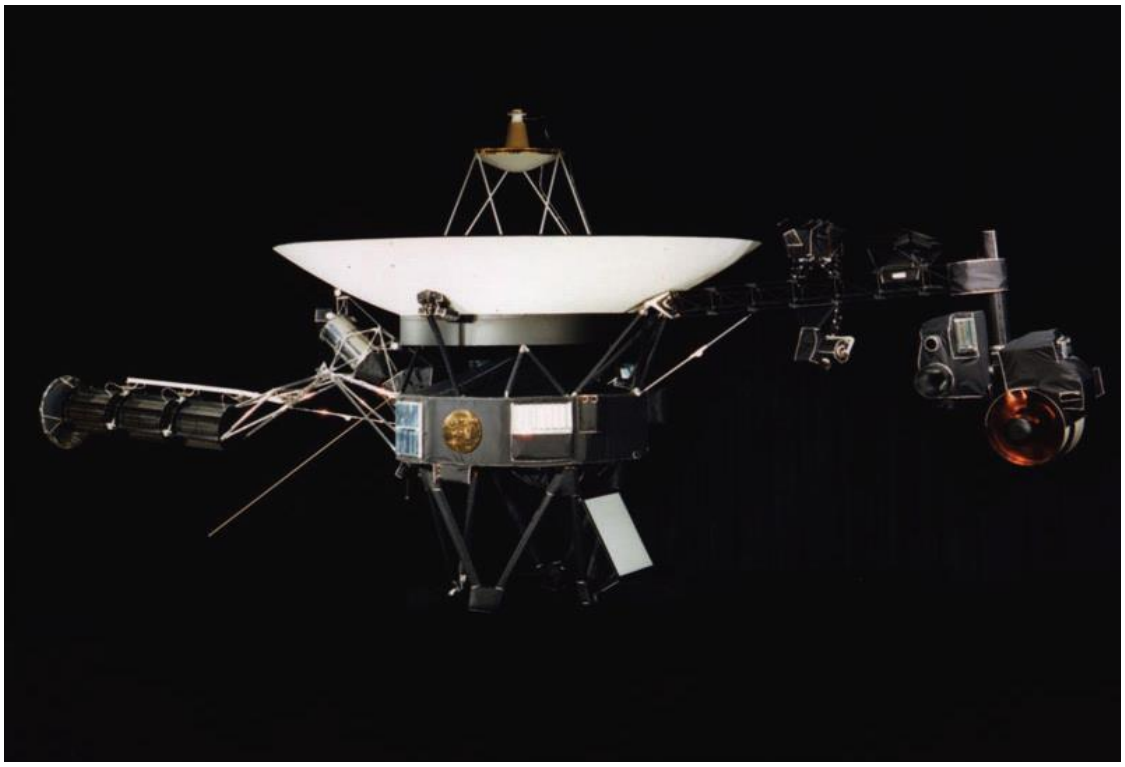
Для исследования двух планет космические аппараты были рассчитаны на пять лет полета и преодоления 10 астрономических единиц, или пути, который в 10 раз больше расстояния от Солнца до Земли. Но, по мере осуществления программы и успешного выполнения всех поставленных задач, стало ясно, что исследование двух внешних планет-гигантов, Урана и Нептуна, является возможным – и доказанным для ученых и инженеров Лаборатории Реактивного Движения NASA в Пасадене, Калифорния.

Поскольку космический аппарат летел через всю Солнечную систему, был использован метод удаленного перепрограммирования для обеспечения Вояджеров гораздо большими возможностями, чем те, которыми они располагали непосредственно после запуска. В конечном счете, Вояджеры исследуют все четыре внешних планеты-гиганта, 48 их спутников, а также уникальные системы колец и распределение магнитных полей этих планет.

Если бы миссия «Вояджер» завершилась сразу после исследования Юпитера и Сатурна, она все равно предоставила бы достаточно материала для того, чтобы переписать книги по астрономии. Но, пройдя с того времени вдесятеро больший путь, Вояджеры вернули на Землю информацию за годы своего полета, которая произвела революцию в планетарной астрономии и физике Солнца. Они помогли ученым решить ключевые вопросы и в то же время сильно озадачили новыми – о происхождении и эволюции планет в нашей Солнечной системе и о том, как наша Солнечная система взаимодействует с окружающим межзвездным пространством.

**Концепция миссии**

Миссия «Вояджер» разрабатывалась с учетом использования редкого взаимного расположения внешних планет в конце 1970 – 1980 гг.



Это расположение, которое наступает приблизительно каждые 175 лет, позволяет космическому аппарату, движущемуся по определенной траектории, осуществлять перелет от одной планеты к другой без необходимости в громоздкой бортовой двигательной установке. Пролет возле каждой планеты искривляет траекторию движения космического аппарата и увеличивает его скорость до величины, достаточной для полета к следующей планете. С использованием этой методики «гравитационного содействия» время полета до Нептуна сократилось от 30 лет до 12.

Хотя облет четырех планет считался осуществляемым, полагалось, что постройка космического аппарата, способного преодолеть такой путь, нести необходимое оборудование и иметь достаточно большой срок службы для выполнения такой долгосрочной миссии, будет слишком дорогой. Таким образом, миссия финансировалась для интенсивного исследования только Юпитера и Сатурна. Были просчитаны свыше 10000 траекторий; из них были выбраны две, которые позволяли достаточно близкий пролет Юпитера и его большого спутника Ио, а также Сатурна и его большого спутника Титана; выбранная для Вояджера 2 траектория предоставляла также возможность продолжить полет к Урану и Нептуну.

С Космического центра им. Кеннеди NASA, расположенного на мысе Канаверал, Флорида, 20 августа 1977 года первым был запущен Вояджер 2; 5 сентября 1977 года по более быстрой и короткой траектории был запущен Вояджер 1. Несмотря на то, что он был запущен вторым, этот космический аппарат первым достигнет Юпитера, поэтому он и был назван Вояджер 1. Оба космических аппарата были доставлены в космос с помощью невозвращаемых ракет-носителей Титан-Центавр.

В ходе миссии Вояджер 1 прилетел к Юпитеру в 1979 году и к Сатурну в 1980, а Вояджер 2 достиг Юпитера в 1979 году, Сатурн – в 1981.

Траектория Вояджера 1, рассчитанная для близкого пролета мимо большого спутника Титана за кольцами Сатурна, необратимо искривилась в северном направлении из плоскости эклиптики – плоскости, в которой вращается вокруг Солнца большинство планет.

После успешной встречи Вояджера 2 с Сатурном, было показано, что Вояджер 2 в состоянии лететь к Урану со всем рабочим оборудованием. NASA обеспечило дополнительное финансирование для продолжения управления двумя космическими аппаратами и уполномочило JPL провести исследование Урана. Позже, NASA также санкционировало новый этап миссии – пролет Нептуна, а сама миссия была переименована – теперь она называлась «Вояджер – Нептун – Межзвездное пространство».

Вояджер 2 достиг Урана 24 января 1986 года, возвращая подробные фотографии и другую информацию о планете, ее спутниках, магнитном поле и темных кольцах. Наиболее близко к планете аппарат находился 25 августа 1989 года.

Затем Вояджер 2 пролетел над северным полюсом Нептуна и отклонился в южном направлении, ниже плоскости эклиптики, и взял курс на пролет мимо спутник Нептуна Тритона для осуществления конечной цели – покинуть нашу Солнечную систему, которая к настоящему времени уже достигнута. Этап миссии «Вояджер», в ходе которого космические аппараты были выведены за планеты в межзвездное пространство, известен как миссия «Вояджер – Межзвездное пространство».

Вояджер 1 уже покинул гелиосферу – пространство, заполненное плазмой (ионизированным газом), которую Солнце разгоняет вокруг себя в виде солнечного ветра. Инструменты Вояджера показывают, что он является первым космическим аппаратом, который движется за пределами существования солнечного ветра – и обнаруживают начало межзвездного пространства. Несмотря на то, что Вояджер 1 все еще может испытывать влияние магнитного поля Солнца и испускаемых им заряженных частиц, аппарат движется в пространстве, материя в котором выброшена соседними звездами-гигантами миллионы лет назад.

По мере удаления от Земли Вояджер 1 поднимается над плоскостью эклиптики под углом около 35° на скорости примерно 340 миллионов миль (540 миллионов километров) в год. Вояджер 2 также движется за пределы магнитного влияния Солнца, опускаясь ниже плоскости эклиптики под углом около 48 градусов и на скорости примерно 295 миллионов (475 миллионов километров) в год.

Оба аппарата продолжат исследовать источники ультрафиолетового излучения среди звезд, а приборы для анализа полей и частиц продолжат изучение границы между влиянием Солнца и межзвездного пространства. Ожидается, что Вояджеры будут возвращать ценную информацию, по крайней мере, еще восемь лет. Связь будет поддерживаться до тех пор, пока радиоактивные источники энергии Вояджеров не смогут больше питать в достаточной степени важнейшие подсистемы.

Капиталовложения в миссию Вояджеров 1 и 2, включая запуск, управление и ядерные батареи аппарата (разработанные в Министерстве энергетики), составляют около 988 миллионов долларов по состоянию на сентябрь 2013 года.

**Эксплуатация**

Вояджер 1 и 2 являются полностью одинаковыми космическими аппаратами. На борту каждого находились приборы для проведения 10 различных исследований. К их числу относятся телевизионные камеры, датчики ультрафиолетового и инфракрасного излучения, магнитометры, детекторы плазмы, а также датчики космического излучения и заряженных частиц. Из них четыре типа приборов – камеры, фотополяриметры и датчики инфракрасного и ультрафиолетового излучения – работают со сканирующей платформы, которая позволяет ориентировать их с точностью меньше, чем 1/10 градуса. Кроме того, для проведения исследований использовалось бортовая радиоаппаратура.

Вояджеры движутся слишком далеко от Солнца, чтобы использовать солнечные батареи; вместо них на космических аппаратах были установлены источники энергии, называемые радиоизотопными термоэлектрическими генераторами (RTG). Эти устройства, используемые при исследованиях дальнего космоса, преобразуют тепло, производимое при естественном радиоактивном распаде плутония, в электричество для питания бортовых приборов, компьютеров, радиоаппаратуры и других систем.

Космические аппараты являются управляемыми, и информация от них передается через Сеть Глубокого Космоса (DSN), глобальной системы сопровождения космического аппарата, управляемой JPL для NASA. Комплекс антенн DSN расположен в пустыне Мохаве, Калифорния; вблизи Мадрида, Испания; и в Тидбинбилле, расположенной около Канберры, Австралия.

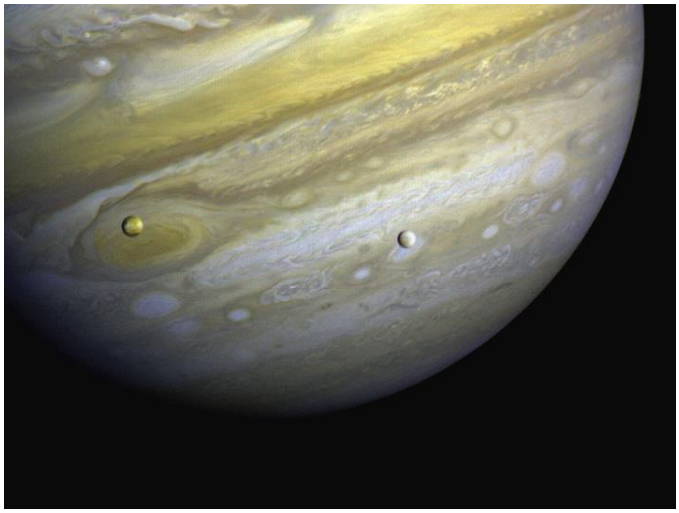
**Юпитер**

Вояджер 1 максимально приблизился к Юпитеру 5 марта 1979 года, а Вояджер 2 – 9 июля 1979 года. Первый аппарат пролетел на расстоянии 128400 миль (206700 километров) над вершиной облачного покрова планеты, а Вояджер 2 – на расстоянии 350000 миль (570000 километров).

Юпитер – самая большая планета Солнечной системы; состоит преимущественно из водорода и гелия, с небольшим количеством метана, аммиака, водяного пара, следов других веществ и ядра из льда и расплавленной породы. Яркие поперечные пояса и атмосферные облака и ураганы иллюстрируют динамичную погоду на Юпитере. Планета совершает полный оборот вокруг Солнца за 11,8 года, а сутки на ней длятся 9 часов 55 минут.

Несмотря на то, что астрономы изучали Юпитер с Земли помощью телескопов в течение многих веков, учены были поражены многими открытиями Вояджера.

Большое Красное Пятно оказалось сложным ураганом, движущимся против часовой стрелки. Были также обнаружены группы меньших ураганов и вихрей на всем протяжении облаков.



Вояджер пролетел мимо восьми спутников Юпитера и открыл ещё три. Открытие вулканической активности на спутнике Ио без преувеличения стало наибольшим неожиданным открытием при исследовании Юпитера. Впервые были найдены действующие вулканы на другом небесном теле нашей Солнечной системы. Вместе, Вояджеры наблюдали извержение девяти вулканов на Ио, и имеются доказательства, что извержения происходили между пролетами Вояджеров.

Вероятно, вулканы на Ио существуют из-за нагревания спутника периодическими приливными воздействиями. На своей орбите Ио возмущается Европой и Ганимедом, двумя другими близкими большими спутниками, а после притягивается Юпитером на прежнюю орбиту. Это «перетягивание» приводит к приливному выпучиванию, достигающему 330 футов (100 метров) на поверхности Ио; для сравнения на Земле величина приливной выпучивания составляет всего 3 фута (1 метр).

Похоже, что вулканизм на Ио влияет на всю юпитерианскую систему, в ней он является главным источником вещества, заполняющего магнитосферу Юпитера – область окружающего планету пространства, которая находится под влиянием магнитного поля Юпитера. Сера, кислород и натрий, вероятно выброшенные многочисленными вулканами Ио, а также поднятые с поверхности планеты в результате столкновения с ней частиц высокой энергии, были обнаружены даже на внешней границе магнитосферы – на расстоянии миллионов миль от самой планеты.

Европа открыла большое количество образований в виде взаимопересекающихся линий, которые были запечатлены Вояджером 1 на фотографиях низкого разрешения. Сначала ученые полагали, что эти образования представляют собой глубокие трещины, которые являются результатом раскалывания коры спутника или тектонических процессов. Однако более близкие фотографии высокого разрешения, сделанные Вояджером 2, поставили ученых в тупик: на рельефе планеты образований практически не было, по этому поводу один из ученых сказал, что они «как будто были нарисованы маркером». Существует вероятность, что внутри Европы есть активность из-за приливного нагревания, которое в 10 и более раз меньше, чем на Ио. Полагается, что Европа имеет тонкую кору (толщиной менее 18 миль или 10 километров) из водяного льда, которая плавает по океану глубиной 30 миль (50 километров).

Ганимед оказался самым большим спутником в Солнечной системе; его диаметр составляет 3280 миль (5276 километров). Топография спутника включает два различных типа местности: с одной стороны усеянные кратерами, с другой – желобами; учитывая это факт, ученые полагают, что вся ледяная кора Ганимеда находилась под воздействием растяжения из-за глобальных тектонических процессов.

Каллисто имеет очень старую, усеянную множеством кратеров кору с остатками колец кратеров, являющихся результатом колоссальных столкновений. С течением геологического времени самые большие кратеры,

вероятно, были разглажены потоками ледяной коры. Практически невозможно различить рельеф в еле заметных остатках образовавшихся при столкновениях огромных углублений, которые можно различить только по их светлому оттенку и окружающих их кольцеобразных концентрических гребней.

Было обнаружено тусклое пылевое кольцо вокруг Юпитера. Его внешняя граница находится на расстоянии 80000 миль (129000 километров) от центра планеты, а ширина кольца составляет около 18000 миль (30000 километров).

Были открыты два новых малых спутника, Адрастея и Метида, вращающиеся практически на границе кольца. Третий новый спутник был обнаружен между орбитами Ио и Амальтеи.

Кольца и спутники Юпитера находятся в поясе интенсивном радиационном поясе, состоящем из электронов и ионов, захваченных магнитным полем планеты. Эти частицы и поля образуют юпитерианскую магнитосферу, или магнитную среду, которая простирается на расстояние от трех до семи миллионов километров по направлению к Солнцу, и растягивается в форме конуса, по меньшей мере, до орбиты Сатурна, т.е. на расстояние 460 миллионов миль (750 миллионов километров).

Поскольку магнитосфера вращается вместе с Юпитером, она проходит мимо Ио и уносит около 1 тонны (1000 килограмм) вещества в секунду. Это вещество формирует торообразное  скопление – тучу в форме пончика, наполненную ионами, которая испускает ультрафиолетовое излучение. Тяжелые ионы перемещаются к внешней границе тора, и их давление расширяет юпитерианскую магнитосферу более чем в два раза по сравнению с ожидаемым размером. Некоторые высокоэнергичные ионы серы и кислорода падают вдоль магнитного поля на атмосферу планеты, приводя к возникновению полярных сияний.

Ио действует как электрогенератор, т.к. движется через магнитное поле Юпитера, производя 400000 вольт между диаметрально противоположными точками на поверхности и генерируя ток силой в 3 миллиона ампер, который течет вдоль магнитного поля в ионосферу планеты.

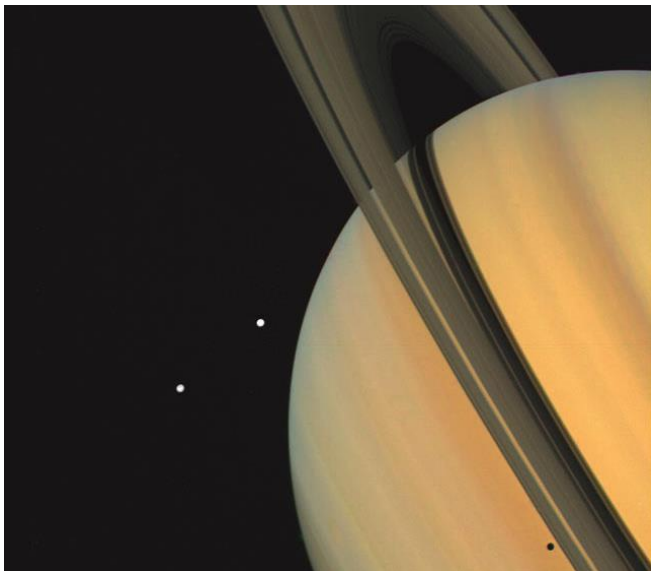
**Сатурн**

Вояджеры 1 и 2 осуществили пролет мимо Сатурна с интервалом девять месяцев, максимально приблизившись к планете 12 ноября и 25 августа 1981 года. Вояджер 1 прошел на расстоянии 40000 миль (64200 километров) над поверхностью облаков, тогда как Вояджер 2 – на расстоянии 26000 миль (41000 километров).

Сатурн – вторая наибольшая планета Солнечной системы и отличается своей сложной системой ярких колец. Полный оборот вокруг Солнца занимает 29,5 лет, а сутки длятся 10 часов 39 минут. Как и Юпитер, Сатурн состоит из водорода и гелия. Его затуманенный желтый оттенок оказался испещренным широкими атмосферными поясами, подобными поясам Юпитера, только значительно более тусклыми. Близкое исследование оптическими системами Вояджеров обнаружило длительно существующие овалы и другие атмосферные явления, которые, в целом, были меньше юпитерианских.

Наверное, величайшими сюрпризами и наибольшими загадками были открытия, сделанные Вояджерами в кольцах Сатурна. Считалось, что кольца сформировались из вещества спутника, который был раздроблен вследствие столкновений с кометами и метеороидами. Образовавшаяся пыль и частицы, размеры которых варьировались от размера гальки до размеров здания, скопились в обширной плоской области переменной плотности вокруг планеты.

Оба Вояджера сфотографировали 17 спутников Сатурна, из них четыре были открыты  впервые. Неправильная форма восьми наименьших спутников Сатурна указывает на то, что они тоже являются фрагментами больших тел. Были открыты неожиданные образования в форме петель и лучей, а также тонкие и широкие, рассеянные кольца, которые невозможно наблюдать с Земли. Многие из совершенных структур некоторых колец являются следствием гравитационных эффектов, создаваемых близко расположенными спутниками. Этот феномен наиболее ярко проявляется во взаимоотношении F-кольца и двух малых спутников, которые «уводят» вещество колец. Петлеобразная форма кольца может быть следствием изменения расстояния между спутниками и кольцом. Спутники, оказывающие влияние на кольца, были также обнаружены Вояджером 2 возле Урана.



Вояджеры нашли радиальные лучевидные образования в широком B-кольце. Считалось, что образования состоят из мельчайших пылевых частиц. На серии последовательных снимков, сделанных Вояджерами, было запечатлено формирование и исчезновение лучей. Хотя накопление электростатического заряда может способствовать возникновению лучей, поднимая частицы пыли над кольцом, точная причина образования лучей до конца не ясна.

Скорость ветров на Сатурне достигает огромных величин – до 1100 миль в час (1800 километров в час). Их преимущественно восточное направление указывает на то, что ветры дуют не только на поверхности туч, но должны простираться, по меньшей мере, на 1200 миль (2000 километров) вниз в атмосферу. Характеристическая температура атмосферы составляет -289 градусов по Фаренгейту (95 градусов Кельвина).

На орбите Сатурна находится множество различных спутников, размеры которых варьируются от размеров Фебы – малого спутника, движущегося по орбите в обратном направлении и являющемся, по-видимому, захваченным телом, – и до размеров Титана – спутника величиной с планету, имеющего тонкую атмосферу из азота и метана. Температура и давление на поверхности Титана составляют -290 градусов по Фаренгейту (94 градуса Кельвина) и 1,5 атмосферы соответственно. В ходе фотохимических процессов некоторое количество атмосферного метана превращается в другие органические молекулы, например этан, который, как полагают, формирует целые озера или даже океаны. Другие, более сложные углеводороды формируют пылевые частицы, которые, в конце концов, падают на поверхность, покрывая ее толстым слоем органического вещества. Химический состав атмосферы Титана может быть сильно похож на состав атмосферы Земли до возникновения жизни на ней.

Наиболее активной поверхностью из всех обнаруженных спутников Сатурна обладает Энцелад. На яркой поверхности этого спутника, с долинами и расселинами, были обнаружены следы изменений, вызванных тектоническими процессами. Вояджер 1 обнаружил спутник Mimas, на поверхности которого был настолько огромный кратер, что приведшее к его образованию столкновение было близко к тому, чтобы раздробить спутник на части.

Магнитное поле Сатурна меньше, чем поле Юпитера, простираясь всего на расстояние от 0,6 до 1 миллиона миль (от 1 до 2 миллионов километров). Ось поля практически точно совладает с осью вращения планеты.

**Уран**

В течение первого своего одиночного пролета планеты, Вояджер 2 максимально сблизился с Ураном 24 января 1986 года на расстоянии около 50600 миль (81500 километров) над поверхностью облачного покрова планеты.

Уран является третьей наибольшей планетой Солнечной системы. Он вращается вокруг Солнца на расстоянии 1,7 миллиардов миль (2,8 миллиона километров) и совершает полный оборот каждые 84 года. Длина суток на Уране по данным Вояджера 2 составляет 17 часов 14 минут.

Отличительной чертой Урана является то, что планета «опрокинута» набок. Считается, что эта необычная позиция является результатом столкновения с телом величиной с планету, которое произошло давно в истории Солнечной системы. Учитывая странную ориентацию планеты, при которой полярные области планеты длительное время находятся на солнечной и обратной стороне, ученые не были уверены в том, что следует ожидать на Уране.

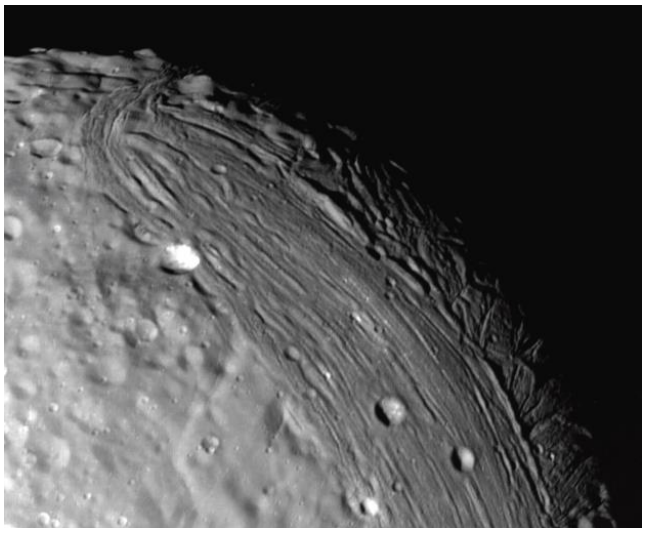
Вояджер 2 обнаружил, что наиболее сильно боковая ориентация планеты влияет на хвост магнитного поля, которое само отклонено от оси вращения планеты на 60°. Оказалось, что хвост магнитного поля за Ураном закручен из-за вращения планеты в форме длинной спирали.

О наличии магнитного поля на Уране не было известно до прилета Вояджера. Интенсивность магнитного поля приблизительно сравнима с полем Земли, хотя она гораздо более изменчива вследствие того, что находится на большом расстоянии от центра Урана. Особая ориентация магнитного поля наводит на мысль, что оно генерируется в средних слоях внутри планеты, в которых величина давления достаточна для того, чтобы вода становилась электропроводной.

Интенсивность радиационных поясов на Уране оказалась схожей с интенсивностью радиационных поясов Сатурна. Интенсивность радиационного излучения внутри поясов такова, что сияние быстро затмило бы (в течение 100000 лет) весь метан, оказавшийся на ледяной поверхности внутренних спутников и частиц колец. Возможно, это обусловило равномерный тёмно-серый оттенок поверхности спутников и частиц колец.

Вокруг полюса, обращенного к Солнцу, был обнаружен толстый слой тумана, который, как показали наблюдения, интенсивно излучает в ультрафиолетовом диапазоне – это феномен назвали «дневным свечением». Средняя температура составляет около -350 градусов по Фаренгейту (60 градусов Кельвина). Удивительно, но температура на поверхности облачного покрова освещенного и неосвещенного полюсов, а также большей части планеты примерно одинакова.

Вояджер открыл 11 новых спутников Урана и исследовал 16. Большинство спутников, открытых Вояджером, являются малыми, диаметр наибольшего из них составляет около 90 миль (150 километров).



Спутник Миранда, самый внутренний из пяти больших спутников, оказался одним из самых странных тел, когда-либо наблюдавшихся в Солнечной системе. На

подробных снимках, сделанных Вояджером при пролете спутника, были видны огромные крутые каньоны глубиной порядка 12 миль (20 километров), ступенчатые слои, а также комбинации старых и новых поверхностей. Согласно одной из теорий, Миранда может представлять собой воссоединение вещества, произошедшее давно после того, как спутник был раздроблен в результате столкновения чудовищной силы.

Пять больших спутников являются конгломератом льда и камня, как и спутники Сатурна. Титания испещрена огромными расселинами и каньонами, которые указывают на определенную геологическую (вероятно, тектоническую) активность в прошлом. Ариэль имеет самую яркую и, возможно, наиболее молодую поверхность из всех спутников Урана и также пережила тектоническую активность, результатом которой стало множество расселин и, по всей видимости, обширных потоков ледяных масс. Незначительная геологическая активность имела место на Умбриели и Обероне, судя по их старым и темным поверхностям.

Космическим аппаратом были изучены все девять прежде известных колец, которые, как обнаружилось, сильно отличаются от колец Юпитера и Сатурна. Система колец может быть относительно молодой: вероятно, она сформировалась не одновременно с Ураном.

Частицы, из которых состоят кольца, могут быть осколками спутника, разрушенного в результате столкновения с высокоскоростным телом, или отколотыми вследствие воздействия гравитационных эффектов.

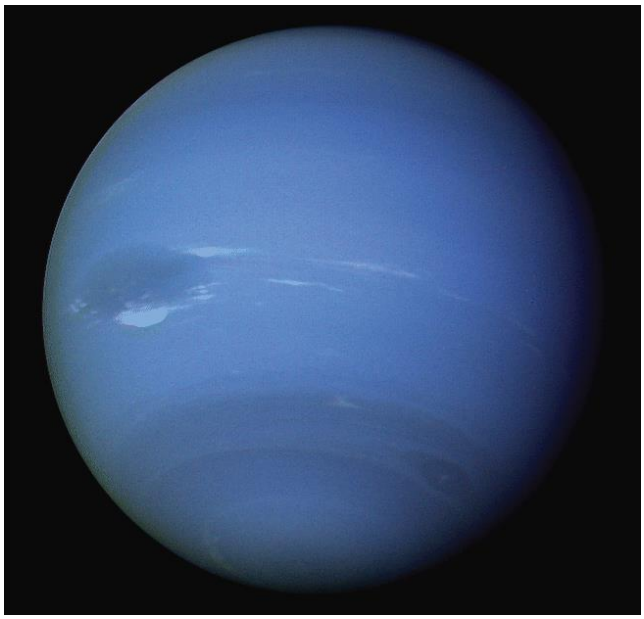
**Нептун**

Вояджер пролетел на расстоянии 3000 миль (5000 километров) от Нептуна 25 августа 1989 года. Нептун совершает полный оборот вокруг Солнца за 165 лет. Он является наименьшей планетой из планет-гигантов нашей Солнечной системы. Была определена длительность суток на Нептуне, которая составила 16 часов и 6,7 минут.

Несмотря на то, что Нептун в количественном отношении получает всего лишь 3% света, получаемого Юпитером, это динамичная планета, на которой, к удивлению, обнаружили несколько больших темных пятен, похожих на ураганы на Юпитере. Самое большое пятно, названное Большим Темным Пятном, было величиной с Землю и напоминало Большое Красное Пятно на Юпитере. Исследователи наблюдали маленькое облако неправильной формы, движущееся в восточном направлении, которое «носилось» вокруг Нептуна с периодом около 16 часов; этот «бегун», как прозвали его ученые миссии «Вояджер», могло представлять собой сгусток выбросов, поднятый над облачным покровом.

Длинные, яркие облака, подобные перистым облакам на Земле, наблюдались вверху атмосферы Нептуна. На низких северных широтах, Вояджер сфотографировал полосы облаков, отбрасывающих тень на облачный покров, находящийся под ними.

Из всех планет на Нептуне были обнаружены самые сильные ветры. Основная часть ветров дует в западном направлении, в направлении, противоположном вращению планеты. Вблизи Большого Темного Пятна скорость ветра достигает 1200 миль (2000 километров) в час.



Магнитное поле Нептуна, как и магнитное поле Урана, оказалось сильно наклоненным – 47° по отношению к оси вращения, – и находящимся на расстоянии, по меньшей мере, 0,55 радиуса (около 8500 миль или 13500 километров) от физического центра. Сравнивая поля обеих планет, ученые считают, что экстремальная ориентация может быть признаком потоков внутри как Нептуна, так и Урана, и не является следствием «бокового» расположения планеты (как у Урана) или любых возможных смен магнитных полюсов на каждой из планет. Проведенные Вояджером исследования радиоволн, генерируемых магнитным полем, позволили установить длину суток на Нептуне. Космический аппарат также обнаружил полярные сияния, которые, однако, были более слабыми, чем на Земле или других планетах.

Вояджер сфотографировал восемь спутников Нептуна, из них пять были открыты впервые. Тритон, самый большой спутник Нептуна, оказался самым интересным не только в системе Нептуна, но и одним из интереснейших спутников во всей Солнечной системе. Были обнаружены следы значительной в прошлом геологической активности, а на снимках Вояджера 2 были запечатлены активные извержения типа гейзеров, выбрасывающих невидимый газообразный азот и темные пылевые частицы на несколько миль (километров) вверх в разреженную атмосферу. Относительно высокая плотность Тритона, а также его движение по орбите в обратном направлении являются веским доказательством того, что Тритон изначально не присутствовал в системе спутников Нептуна и является захваченным объектом. Если это так, то приливное нагревание могло расплавить Тритон на его первичной эксцентрической орбите, и спутник мог даже пребывать в жидком состоянии в течение одного миллиарда лет после его захвата Нептуном.

Очень тонкая атмосфера простирается примерно на 500 миль (800 километров) над поверхностью Тритона. Замороженные частицы азота могут формировать тонкие облака на высоте нескольких километров над поверхностью. Атмосферное давление на поверхности составляет около 14 микробар, что эквивалентно 1/70000 части давления на поверхности Земли. Температура на поверхности примерно -391 градус по Фаренгейту (38 градусов Кельвина) – самая низкая температура из всех зафиксированных на известных телах Солнечной системы.

Новые спутники, открытые Вояджером около Нептуна, являются малыми и находятся близко к экваториально плоскости Нептуна. Имена для новых спутников были выбраны Международным астрономическим союзом из имен мифологических богов воды: Наяда, Таласса, Деспина, Галатея и Протей.

С помощью Вояджера было решено множество вопросов, связанных с кольцами Нептуна. Поиски «кольцевых дуг», или неполных колец, показали, что в действительности все кольца Нептуна являются полными, но настолько разреженными и мелкодисперсными, что их нельзя было исследовать с Земли. Начиная с самого внешнего, кольцам дали следующие имена: Адамс, Лассел, Леверье и Галле.

14 февраля 1990 года Вояджер 1 сделал последние фотографии миссии «Вояджер». Находясь за самой отдаленной планетой нашей Солнечной системы, на расстоянии около 3,7 миллиардов миль (6 миллиардов километров), Вояджер 1 развернул камеру назад, чтобы сделать последние снимки, которые стали его прощальным посланием группе планет, которые были для него домом.

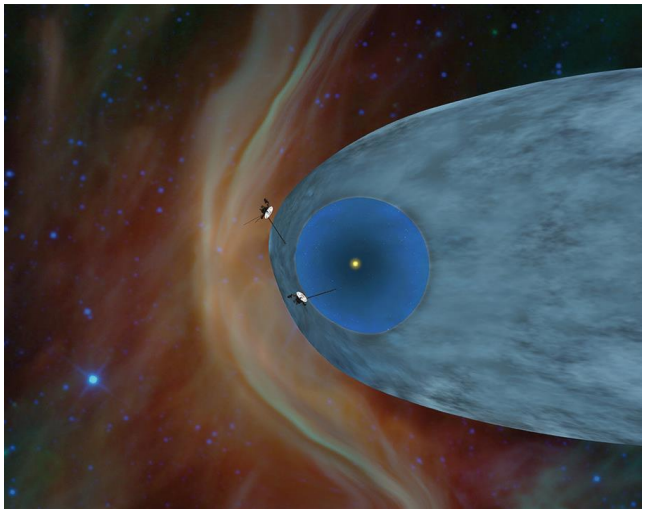
Меркурий был слишком близко к Солнцу, чтобы его увидеть, Марс был виден в форме светящегося полумесяца, а Плутон оказался слишком тусклым, но Вояджеру с его уникальной позиции удалось снять Нептун, Уран, Сатурн, Юпитер, Землю и Венеру. Эти фотографии, позже собранные в большую мозаику, образовали единственный «семейный  портрет» наших планет вокруг Солнца.

Одно из этих изображений особенно тронуло Карла Сагана – члена группы управления съемочной аппаратурой Вояджера, предложившего сделать этот портрет, - и он назвал нашу родную планету «бледной синей точной».

После получения этой серии снимков, камеры Вояджеров 1 и 2 были отключены, а их программное обеспечение было удалено из памяти аппаратов. В бездонной темной пустоте космоса камерам практически нечего было снимать. Руководители миссии были вынуждены освободить память и сохранить энергию для других приборов, которые смогут обнаружить изменения заряженных частиц. Это были бы изменения, которые показали, на что похоже дальнее пространство Солнечной системы. Этот этап положил конец миссии «Большой тур» и дал старт «Межзвездной миссии Вояджер».

**Межзвездная миссия**

На протяжении своей Межзвездной миссии Вояджеры двигались в солнечном ветре. Солнечный ветер состоит из заряженных атомарных частиц (преимущественно ионизированного водорода), которые разлетаются от Солнца. Межзвездное пространство ограничивает дальнейший поток солнечного ветра, из-за чего он скапливается внутри «магнитного пузыря», называемого гелиосферой.



Теперь главной задачей космических аппаратов являлся сбор информации об интенсивности и ориентации магнитного поля Солнца; структуре, направлении и энергии частиц солнечного ветра и межзвездного космического излучения; интенсивности радиоизлучения, которое, как полагали, возникает за пределами гелиопаузы – границы межзвездного пространства; а также распределения водорода внутри отдаленных областей гелиопаузы. В мае 1993 года ученые пришли к выводу, что в ходе исследования колебаний плазмы было обнаружено радиоизлучение, источник которого находился за пределами гелиопаузы; тогда же впервые было выполнено измерение расстояния от Солнца до межзвездного пространства.

В области Солнечной системы, где находятся планеты, солнечный ветер движется со сверхзвуковой скоростью, но давление газа, заполняющего межзвездное пространство, резко тормозит солнечный ветер в ударной волне; эту область пространства ученые назвали границей ударной волны. Ее точное расположение было одним из самых больших нерешенных вопросов в физике космоса.

16 декабря 2004 года на расстоянии около 8,7 миллиардов миль (14 миллионов километров) от Солнца Вояджер 1 пересек границу ударной волны – область, где солнечный ветер начинает «ощущать» присутствие межзвездной среды. Вояджер 2 впервые пересек границу ударной волны 30 августа 2007 года, находясь на расстоянии 7,8 миллиардов миль от Солнца. До границы ударной волны скорость солнечного ветра составляла около 700000 миль в час (300 километров в секунду).

После границы скорость упала примерно до 400000 миль в час (180 километров в секунду).

После прохождения ударной волны Вояджеры послали домой информацию о нагретом турбулентном внешнем слое гелиосферы, известной под названием гелиощит. В апреле 2010 года Вояджер начал обнаруживать дополнительные следы приближения гелиопаузы – поверхности раздела между гелиосферой и межзвездным веществом. Судя по информации, полученной бортовым детектором заряженных частиц низких энергий, скорость солнечного ветра в этой области упала почти до нуля. Впервые с 1990 года команда Вояджера решила выполнить маневры по изменению ориентации аппарата. Информация, полученная в результате этих маневров, подтвердила, что ветер не изменил направления. Вместо этого Вояджер достиг как бы «штилевой полосы», в которой скорость ветра была очень малой.

Потом, в мае 2012 года, детектор космического излучения Вояджера 1 начал регистрировать другой знак приближения гелиопаузы. Это было резкое увеличение числа частиц высокой энергии из межзвёздного пространства. Кроме того, в том же месяце космический аппарат начал обнаруживать такое же резкое уменьшение частиц низкой энергии, образовавшихся внутри нашей гелиосферы. В течение июля 2012 года темп изменения продолжал расти, и 25 августа 2012 года частицы из гелиосферы окончательно исчезли, а количество частиц из межзвездной среды достигло своей максимальной величины. Для ученых был удивительным тот факт, что ожидаемого резкого изменения направления магнитного поля не произошло. Таким образом, описав все изменения по состоянию на декабрь 2012 года, у ученых все еще не было достаточных доказательств того, что Вояджер 1 вышел в межзвездное пространство.

Команде ученых Вояджера требовалась информация о плазме, заполняющей пространство, и в апреле 2013 года детектор колебаний плазмы зарегистрировал эти колебания, чего не происходило последние семь лет. В течение серии бурь на Солнце в марте 2012 года в межзвездное пространство было выброшено солнечное вещество. Тринадцать месяцев спустя это вещество достигло точки пространства, в которой располагался Вояджер 1, и по мере прохождения вещества межзвездная плазма «звенела» как колокол. Ученые могли констатировать тот факт, что ее плотность соответствовала плотности холодной межзвездной плазмы. Перепроверка данных обнаружила более ранние и слабые серии колебаний, зарегистрированных в октябре-ноябре 2012 года. Экстраполируя эти данные назад во времени, они заключили, что Вояджер 1 впервые встретился с плазмой такой плотности в тогда, когда изменилось соотношение количества заряженных частиц. Несмотря на то, что Вояджер 1 продолжает испытывать определенное влияние магнитного поля Солнца и его заряженных частиц, команда была убеждена, что Вояджер 1 начал двигаться в межзвездной плазме. Это случилось примерно 25 августа 2012 года.

Ученые не знают, когда Вояджер 1 достигнет невозмущенной части межзвездного пространства. Они также не уверены, когда именно Вояджер 2 пересечет гелиопаузу, хотя они полагают, что она находится не так далеко. Обратите внимание: прибор анализа плазмы на борту Вояджера 1 прекратил работу в 1980 году сразу после пролета последней планеты. Такой же прибор находится на борту Вояджера 2, и он работает: измеряет температуру, плотность и скорость плазмы.

В настоящее время оба космических аппарата собирают данные о полях и частицах с помощью подсистемы анализа космического излучения, прибора исследования заряженных частиц низких энергий, магнитометра и подсистемы измерения колебаний плазмы. Прибор для исследования ультрафиолетового излучения Вояджера 1 является единственным из всех приборов, расположенных на сканирующих платформах обоих космических аппаратов, который еще возвращает информацию, хотя нагревательные элементы вокруг него были отключены, и он функционирует при температуре -110 градусов по Фаренгейту (-79 градусов Цельсия). Информация, собираемая ультрафиолетовым спектрометром, не помогает отличить гелиосферу от межзвездного пространства.

Данные от всех приборов передаются на Землю в реальном времени, обычно на скорости 160 бит в секунду, и принимаются 34- и 70-метровыми антеннами станций Сети Глубокого Космоса. После передачи в JPL информация становится доступной для обработки и анализа группами ученых, расположенных по всей стране. Операторы миссии «Вояджер» все еще посылают данные аппаратам и/или принимают данные от них каждый день. Сейчас сигналы стали очень слабыми. Вояджеры излучают сигналы мощностью 20 ватт, что соответствует мощности обычной лампочки в холодильнике. А за то время, пока сигнал доходит до Земли, его мощность уменьшается до одной миллиард миллиардной части ватта.

Операторы надеются, что научные приборы для анализа полей и частиц будут функционировать на обоих космических аппаратах примерно до 2020 года. Прибор для исследования ультрафиолетового излучения будет выключен в 2014 году ради сохранения энергии для других приборов. Начиная с 2020 года, инженеры начнут отключать один прибор за другим для сохранения ограниченных запасов энергии; последний прибор планируется отключить примерно в 2025 году.

17 февраля 1998 года Вояджер 1 превзошел космический аппарат Пионер 10 по величине пройденного пути среди космических объектов, созданных человеком. 13 августа 2013 года Вояджер 2 стал космическим аппаратом с самым большим сроком функционирования, опередив по этому показателю Пионер 6, который был запущен 16 декабря 1965 года и передал свой последний сигнал, принятый Сетью Глубокого Космоса, 8 декабря 2000 года. Вояджер 1 является вторым космическим аппаратом по показателю длительности функционирования.

**Команда проекта**

В JPL, на должности руководителя проекта «Вояджер» успешно работали Х.М. «Бад» Шурмейер (1972 – 1976), Джон Касании (1976 – 1977), Роберт Паркс (1978 – 1979), Реймонд Хикок (1979 – 1981), Эскер Дэвис (1981 – 1982), Ричард Лаэзер (1986 – 1986), Норманн Хэйнс (1987 – 1989), Джордж Текстор (1989 – 1997), Эд Мэсси (1998 – 2010) и Сьюзанн Додд (с 2010 года). Эдвард С. Стоун – главный научный сотрудник проекта «Вояджер». Ассистентом главного научного сотрудника проекта по исследованию Юпитера был Артур Л. Лэйн; его сменил Эллис Д. Минер на этапах исследования Сатурна, Урана и Нептуна.

Национальное управление по аэронавтике и космосу

**Лаборатория реактивного движения**
Калифорнийский технологический институт
Пасадена, Калифорния

**www.nasa.gov**

JPL 400-1538 09/13