

# УРАН

**Седьмая по удаленности от Солнца планета считается первым в Солнечной системе ледяным гигантом.**

**У**ран расположен примерно в два раза дальше от Солнца, чем его ближайший сосед Сатурн, и находится на границе видимости невооруженным глазом с Земли. Уран стал первой планетой, открытой в телескопическую эпоху, однако до конца 1980-х годов даже в самые мощные телескопы его видели как бесформенное сине-зеленое образование.

## ОТКРЫТИЕ УРАНА

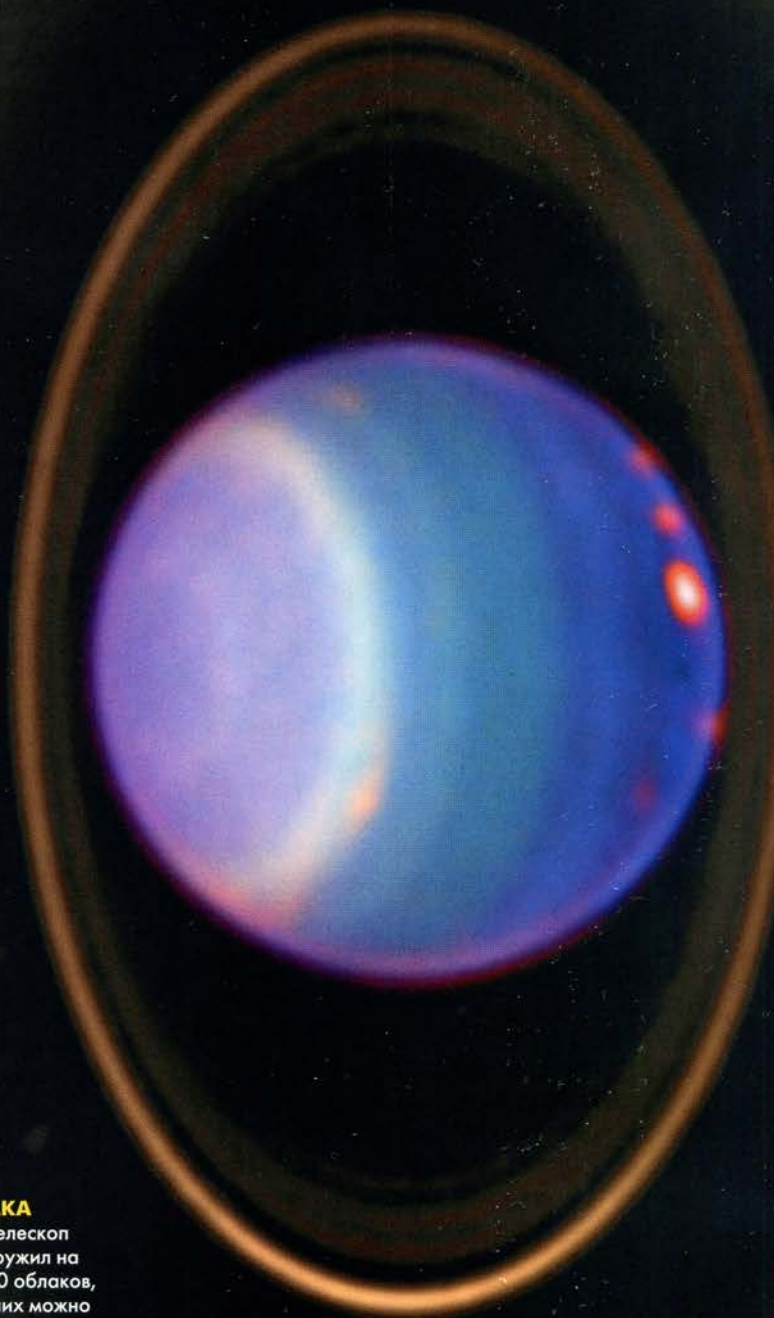
Тогдашний спектроскопический анализ света, исходящего от планеты, показал, что характерный цвет Урану придает небольшое количество (2,3 %) метана в атмосфере. Поскольку он поглощает красный свет, планета отражает в космос свет голубоватого оттенка. Наблюдение за Ураном в 1977 году позволило обнаружить серию колец вокруг планеты.

При взгляде с Земли кажется, что кольца охватывают планету сверху и снизу, что подтверждает предположение о том, что Уран наклонен набок относительно стандартного для объектов Солнечной системы вертикального положения.

«Вояджер-2» во время своего краткого визита к Урану в 1986 году собрал некоторые сведения об этом сложном мире,

## ЯРКИЕ ОБЛАКА

Космический телескоп «Хаббл» обнаружил на Уране около 20 облаков, некоторые из них можно увидеть на этом снимке.



ПАСПОРТ  
ПЛАНЕТЫ

УРАН

### СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ОТ СОЛНЦА

2,88 млрд км [160 световых минут]

### ДИАМЕТР ПО ЭКВАТОРУ

51 118 км

### МАССА

$8,68 \times 10^{25}$  кг

### МАССА ПО СРАВНЕНИЮ С ЗЕМЛЕЙ

больше в 14,5 раза

### ПЛОЩАДЬ ПОВЕРХНОСТИ

больше поверхности Земли в 15,9 раза

### ОБЪЕМ ПО СРАВНЕНИЮ С ЗЕМЛЕЙ

больше в 63,1 раза

### УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ НА

ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ОБЛАКОВ 8,69 м/с<sup>2</sup>

### СРЕДНЯЯ ГРАВИТАЦИЯ

ПО СРАВНЕНИЮ С ЗЕМЛЕЙ 0,89

### СПУТНИКИ

27

### ВРЕМЯ ОДНОГО ОБОРОТА

17 часов 14 минут

### ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ГОДА

84,32 земного года

### ТЕМПЕРАТУРА НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ

ОБЛАКОВ -214 °С

### НАКЛОН ОСИ

98°

### СРЕДНЯЯ ОРБИТАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ

6,8 км/с

однако многое нам о нем еще неизвестно. В следующем выпуске мы будем подробнее изучать кольца и спутники Урана.

## МИР НА БОКУ

Самая необычная черта Урана – это его странное положение.

Меркурий и Юпитер вращаются вокруг Солнца строго вертикально, Земля и Марс имеют умеренный наклон относительно своей оси примерно на 20–30°, а Уран, как выяснилось, отклонен на 98° – другими словами, его Северный полюс располагается чуть ниже относительно орбиты



## НАШИ СВЕДЕНИЯ

## ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА УРАНА

В его холодной верхней атмосфере доминируют водород и гелий, к которым также подмешано где-то 2,3 % метана. Слабая гравитация позволяет Урану формировать огромную корону из водорода, которая простирается на расстояние, вдвое превышающее радиус самой планеты. Над поверхностью лежат слои облаков, состоящие из различных химических элементов, включая воду. Примерно на 5000 км ниже видимой поверхности находится слой «хлюпающей» мантии, богатой водой и аммиаком. Хотя эти слои называют «льдами», они больше похожи на жидкую слякоть, смешанную с неизвестным количеством водорода и гелия. Каменное ядро Урана размером, вероятно, с Землю.

водно-аммиачные «льды»

каменисто-ледяное ядро

водород, гелий и метан

Предоставлено: Calvin J Hamilton

**«Судя по наблюдениям виднейших астрономов Европы, новая звезда... – это первичная планета солнечной системы!».**

Уильям Гершель, 1783

## СИНЕ-ЗЕЛЕНый МИР

Вид на яркий Уран с поверхности ближайшего из его крупных спутников Миранды.

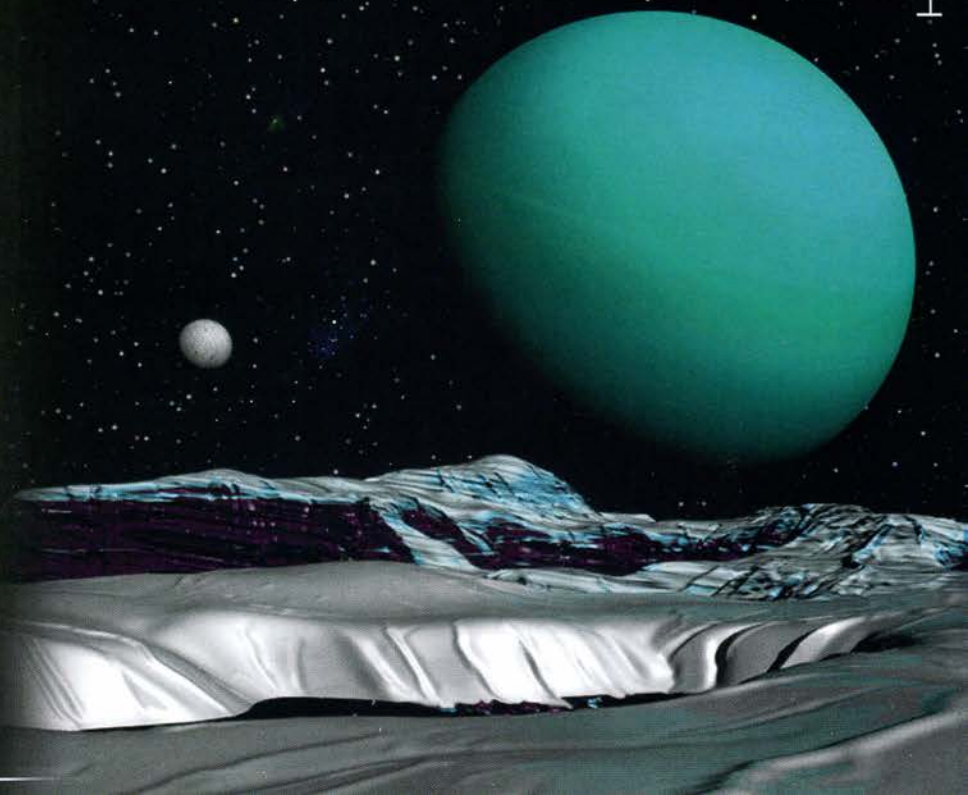
планеты (подробнее читайте в рубрике «Необъяснимо, но...»).

Если другие планеты вращаются, как юла, Уран, видимо, крутится по своей орбите подобно шарикю. На планете сформировалась самая странная система сезонов года: в полярных регионах по 40 лет тянется зима вечной ночью, вслед за которой наступает лето бесконечного солнечного света, которое также длится 40 лет, а в экваториальных областях смена дня и ночи происходит в соответствии с ежедневным вращением Урана (планета совершает виток вокруг своей оси за 17 часов 14 минут). В течение года на ледяном гиганте, по-видимому, относительно равномерная температура на всей поверхности, и этот фактор, предположительно, связан с погодой на планете (см. «Как это работает» на стр. 9).

## ПЕРВЫЙ ИЗ ЛЕДЯНЫХ ГИГАНТОВ

Уран заметно отличается от внутренних планет – газовых гигантов: он меньше Юпитера и Сатурна и при этом самый легкий из всех планет.

Астрономы часто классифицируют Уран и Нептун как ледяные гиганты – внешние планеты содержат большое количество воды и аммиака, которые имеют низкие точки кипения и именуются «льдами».



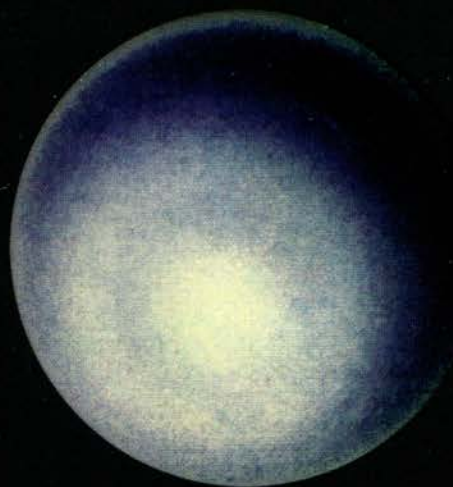
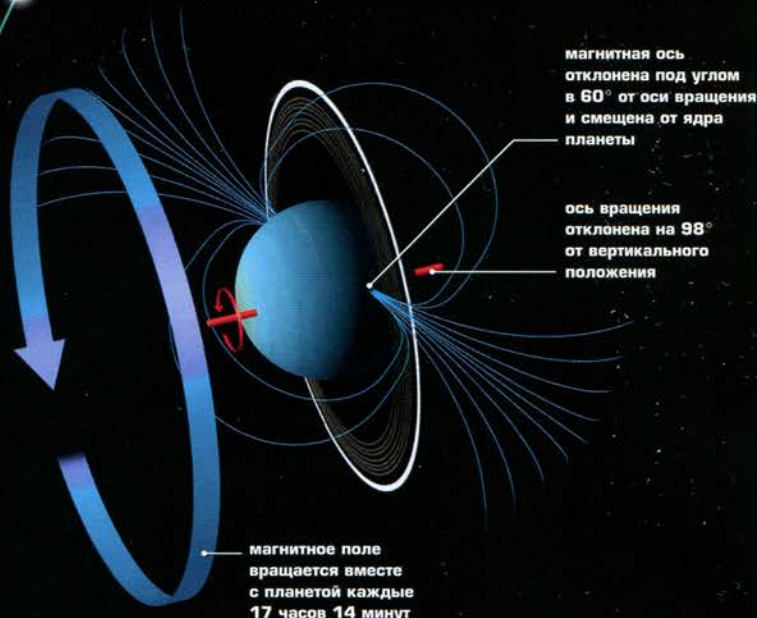


ВАЖНЫЕ ОТКРЫТИЯ

## СТРАННЫЙ МАГНЕТИЗМ

**В**о время пролета «Вояджера-2» в 1986 году выяснилось, что магнитное поле Урана не только отклонено под аномальным углом относительно оси его вращения — оно даже не проходит через центр космического тела. Как правило, магнитное поле планеты генерируется электропроводящими веществами, которые вихрями носятся вблизи ее ядра или непосредственно в нем. Магнитное поле Урана, должно быть, генерируется ближе к его поверхности, в мантии (см. «Наши сведения»). Но даже если и так, то причина, по которой поле формируется, по-видимому, только в определенной части мантии, остается загадкой.

**МАГНИТНАЯ ЗАГАДКА** Необычное магнитное поле Урана работает независимо от осевой плоскости планеты и положения ее ядра.



### ТУМАННЫЙ УРАН

По этому фото, снятому «Вояджером-2», можно судить о том, какой высокий уровень дымки в верхних слоях атмосферы Урана, затуманивающей нижние облака.

Ледяные гиганты, должно быть, сформировались ближе к внешней границе первичной солнечной туманности, которая окружала Солнце. Там льды могли сохраниться в замороженной форме, ведь ближе к светилу они бы неизбежно испарились. Туманность была слишком тонкой, чтобы такие огромные планеты могли сформироваться на ее внешних границах, где они сейчас расположены, поэтому, по-видимому, образовались объекты вблизи от Солнца, но на ранних этапах истории Галактики «мигрировали».

### ПОГОДА НА УРАНЕ

Во время пролета мимо Урана «Вояджер-2» запечатлел внешне безмятеж-



КАК ЭТО РАБОТАЕТ

## ДОЛГИЕ СЕЗОНЫ УРАНА

**Э**кстремальный наклон Урана стал причиной формирования уникальной погодной системы, в которой различные силы доминируют в разных точках в течение долгого года. В период летнего солнцестояния (в середине лета) в одном полушарии высотные метановые облака формируют шапку над полюсом, а турбулентные встречные течения переносят тепло от теплого полюса на более холодную ночную сторону планеты.

По одной из теорий, взаимодействие между

этим течениями и силами, возникающими в результате быстрого вращения планеты, препятствует формированию крупномасштабных погодных моделей. Поскольку планета продолжает свое движение по орбите, летнее полушарие рано или поздно переходит в осень, полярная шапка начинает блекнуть, встречные течения слабеют, и на передний план выходят сформированные под влиянием вращения планеты погодные модели, схожие с другими планетами-гигантами.



**ПОШАГОВЫЙ ОБЗОР** Уран перемещается по своей орбите от южного солнцестояния (1) с постепенной сменой условий в сторону северной весны (2) и достигает пика равноденствия (3) через 22 года. Еще через 22 года в Северном полушарии Урана наступает летнее солнцестояние (4).

**С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ**

Два изображения системы Урана, выполненные с разницей в 5 лет. На снимке 2007 года кольца Урана стоят на ребре, а потому совершенно не видны. Кроме того, это фото получено с использованием адаптивной оптики, поэтому на нем больше мелких деталей.

ный мир. Планета казалась целиком однородной по цвету, однако после обработки фотографий обнаружались новые детали. Южный полюс, который в тот момент находился в периоде летнего солнцестояния, был заметно ярче, чем экваториальные зоны, кроме того, его накрывала шапка из мглистого слоя метановых облаков, образовывавших яркий воротник на южных широтах. К северу от этой территории, в сторону зимней половины планеты, облака оказались темнее с различимыми полосками. Ученые пришли к выводу, что

ветер на поверхности может развивать скорость до 580 км/ч.

Очевидная общая вялая активность на планете приписывалась слишком малому количеству тепла, исходящему от нее. Отсутствие «теплового двигателя» (который имеется на других планетах-гигантах) – еще одна загадка Урана. По одной из гипотез, он потерял свое избыточное тепло в результате гипотетического колоссального столкновения на ранних этапах своей жизни, по другой – слой химической «изоляции» абсорбирует тепло раньше, чем оно успевает достичь поверхности.

**ПЛАНЕТА ПРОБУЖДАЕТСЯ**

Однако с появлением нового поколения усовершенствованных телескопов, которые устремили свой взор на Уран в середине 1990-х годов, неожиданно для всех он предстал в ином свете. Планета к тому времени проснулась и гордо демонстрировала намного больше облаков. По всей видимости, такой резкий поворот объяснялся сменой сезонов. Во время пролета «Вояджера» объект был обращен к нему Южным полушарием, где господствовало летнее солнцестояние, тогда как в 1990-х годах в поле зрения появилось Северное полушарие, где бушевали штормы.

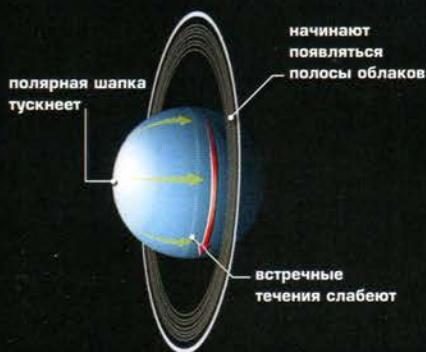
Это свидетельствует о существовании сложного цикла, который заставляет климат Урана регулярно трансформировать его облик из кажущегося безмятежным в неистово бушующий и наоборот.

**В СЛЕДУЮЩЕМ ВЫПУСКЕ: СМЕЛОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ ВГЛУБЬ СИСТЕМЫ УРАНА С ЦЕЛЮ ИЗУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ КОЛЕЦ И СПУТНИКОВ ПЛАНЕТЫ.**



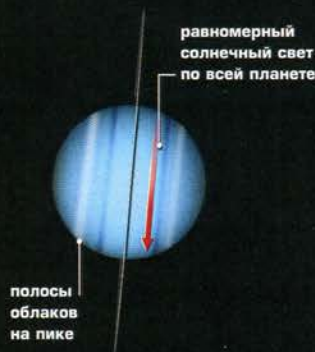
**1 ЮЖНОЕ ЛЕТНЕЕ СОЛНЦЕСТОЯНИЕ**

В период летнего солнцестояния мощные встречные течения препятствуют формированию погодных полос.



**2 СЕВЕРНАЯ ВЕСНА**

Когда Северное полушарие обращается к солнечному свету и начинает прогреваться, встречные течения ослабевают, и появляются погодные полосы.



**3 РАВНОДЕНСТВИЕ**

В период равноденствия встречные течения полностью исчезают, главенствующее место занимают полосы облаков.



**4 СЕВЕРНОЕ ЛЕТНЕЕ СОЛНЦЕСТОЯНИЕ**

К периоду наступления летнего солнцестояния на севере встречные течения переносят тепло с севера на юг и вновь не дают образовываться погодным полосам.

# «ВОЯДЖЕР-2»

## ОКОЛО УРАНА

Мы продолжаем рассказ о миссиях «Вояджера». Пришло время узнать, что происходило во время встречи «Вояджера-2» с Ураном.



### СТАТИСТИКА МИССИИ

#### МАКСИМАЛЬНОЕ СБЛИЖЕНИЕ:

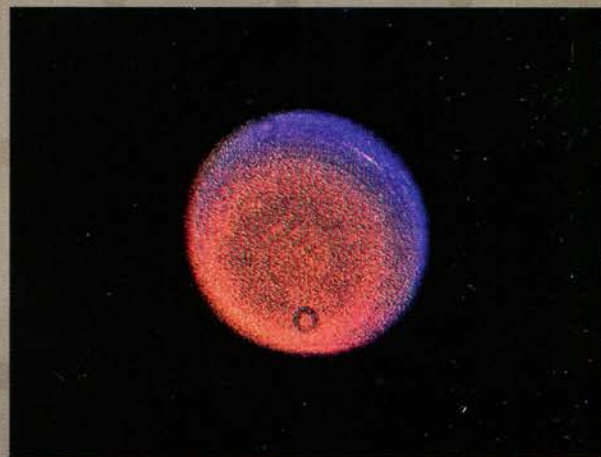
24.01.1986

**ГЛАВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ:** Первый аппарат, обнаруживший магнитное поле Урана

**МАССА:** 722 кг

После пролета мимо Сатурна в 1981 году «Вояджер-2» устремился к Урану. На своем пути станция исследовала межпланетную среду, наблюдала за небесными объектами и настраивала свои системы.

Пришлось отлаживать работу платформы сканирующей камеры после ее заедания в момент встречи с Сатурном. Временная неполадка была устранена, и функция систе-



### СОСТАВНОЕ ФОТО

Композитный снимок Урана с «Вояджера-2», выполненный с фиолетовым, синим и оранжевым фильтрами. Яркая черточка справа сверху почти на границе контура планеты – облако.

мы полностью восстановилась еще до окончания 1981 года.

### НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

При подготовке полета к Урану наземные инженеры перепрограммировали бортовой компьютер посредством радиуправления с Земли. Эта работа позволила «Вояджеру-2» выполнить четкие снимки крупным планом, несмотря на тусклый свет (на Уран попадает всего 400-я доля солнечного света, поступающего на Землю) и высокую скорость, с которой аппарат проходил мимо объектов.

В то же время гигантские радиоприемные станции в Австралии были соединены в электронном режиме для



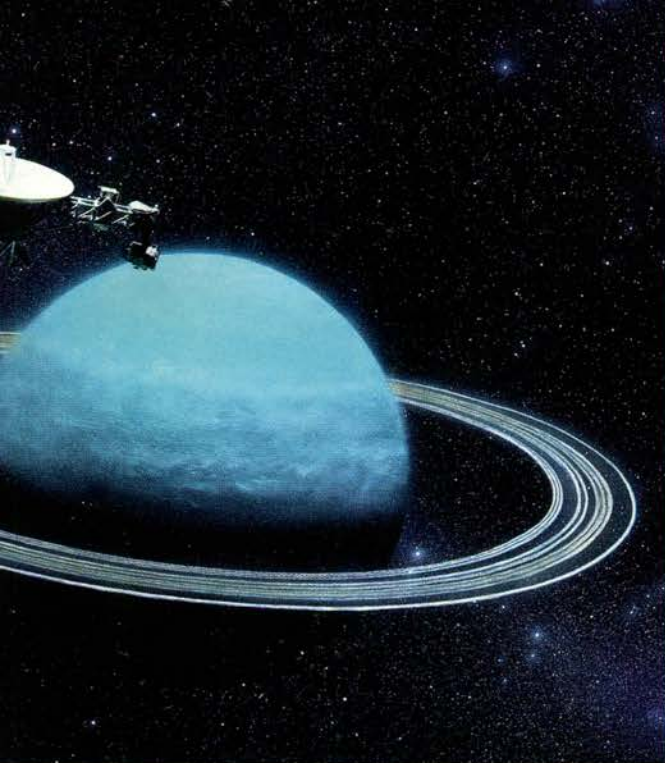
### ВАЖНЫЕ ОТКРЫТИЯ

### НОВЫЕ СПУТНИКИ

В ходе встречи с системой Урана в 1986 году «Вояджер-2» открыл 11 ранее неизвестных внутренних спутников. Всем этим объектам малого размера даны имена героев Шекспира.

Спутник	Расстояние (1000 км)	Радиус (км)
Корделия	50	13
Офелия	54	16
Бианка	59	22
Крессида	62	33
Дездемона	63	29
Джувьетта	64	42
Порция	66	42
Розалинда	70	27
Белинда	75	34
Пердита	76	40
Пак	86	77





### БЛИЗКАЯ ВСТРЕЧА

На рисунке изображен «Вояджер-2» меньше чем за час до максимального приближения к Урану.

### ХОРОШИЕ ВИБРАЦИИ

Опытная модель станции «Вояджер» проходит испытания на вибрацию, имитирующую условия запуска.



улавливания и улучшения качества сигналов с Урана от «Вояджера-2».

### УДИВИТЕЛЬНЫЕ НАХОДКИ

Знакомство «Вояджера-2» с Ураном началось 4 ноября 1985 года с наблюдения. Сбор данных достиг пика в конце января 1986 года, в период наибольшего приближения станции к планете. Это случилось в 9:59 по тихоокеанскому времени 24 января, когда станция находилась в 81 500 км от верхней границы облаков над планетой.

Было обнаружено магнитное поле, скрученное в виде штопора на дальней стороне планеты и сформированное ее вращением.

Другим открытием стал странный ландшафт Миранды, самого ближнего к Ура-

## «ВОЯДЖЕР» ОТКРЫЛ НАМ ГЛАЗА НА ТО, ЧТО НАХОДИТСЯ В ДАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ».

Джон Касани, руководитель проекта «Вояджер»

ну из пяти его крупнейших спутников. Подробные фотографии запечатлели огромные каньоны глубиной 20 км,

ступенчатые равнины и комбинации древних и молодых участков поверхности.

Также «Вояджер-2» изучал девять колец Урана, которые, как оказалось, намного моложе самой планеты. Считают, что частицы, из которых состоят кольца, могут представлять собой остатки спутника.

Четырнадцатого февраля 1986 года инженеры дали команду «Вояджеру» изменить курс на Нептун. Встреча станции с Ураном была завершена 25 февраля.



### НАШИ СВЕДЕНИЯ

## КАТАСТРОФА «ЧЕЛЛЕНДЖЕРА»

Максимальное приближение «Вояджера-2» к Урану должно было стать важным поводом для большого торжества. К несчастью, всего четырьмя днями позже его эпические приключения и факт получения им фантастических снимков затмили трагедией космического челнока «Челленджер». Шаттл был запущен в 11:38 по североамериканскому восточному времени. Всего через минуту полета правый твердотопливный ускоритель взорвался, разорвав на части весь корабль и погубив жизни семи членов его экипажа.

**ТРАГЕДИЯ В НЕБЕ** На снимке, выполненном всего через несколько секунд после взрыва, видны струи выхлопных газов из главных двигателей шаттла и твердотопливного ускорителя.

# ЧТО «ОПРОКИНУЛО» УРАН?

Необычный наклон оси вращения Урана – одна из самых впечатляющих его характеристик, однако астрономы до сих пор точно не знают, почему объект оказался в таком положении.

**В** момент рождения нашей Солнечной системы из вращающегося диска из газа и пыли 4,6 млрд лет назад все главные планеты разместились на орбитах вблизи ее расплюсченной плоскости – эклиптики. Это было неизбежным результатом законов больших чисел и сохранения импульсов (см. «Глоссарий»).

## НАКЛОННЫЕ МИРЫ

Поскольку планеты сформировались в результате столкновения бесчисленного количества частичек, любые случайные движения должны были уравновеситься, чтобы планеты продолжали вращаться в строго вертикальном положении относительно их орбит. Однако вполне очевидно, что это не так: если Меркурий и Юпитер, действительно, более или менее вертикальны, то Земля, Марс, Сатурн и Нептун наклонены под углом примерно в  $25^\circ$ , а Уран – в  $98^\circ$ . В зависимости от

**ПРЯМОЙ УДАР** Не стали ли необычный наклон оси Урана результатом столкновения с огромным небесным телом?



## КАК ЭТО РАБОТАЕТ ОРБИТАЛЬНЫЕ МИГРАЦИИ

**П**редполагают, что внешние планеты-гиганты сформировались в свое время ближе к Солнцу. Сатурн, Уран и Нептун впоследствии «мигрировали» к внешним границам Галактики на раннем этапе истории нашей Солнечной системы. По мере дрейфа Сатурна к внешней половине Галактики он должен был пройти через период орбитального резонанса, а год на этой

планете длится ровно вдвое дольше, чем на Юпитере. Это должно было приводить к повторным близким парадом двух гигантов, которые тянули к себе Уран и Нептун и вывели их на эксцентрические орбиты, начавшие фиксироваться только где-то через миллион лет. В течение этого короткого периода орбиты Урана и Нептуна должны были пересекаться и часто подходить близко к Сатурну.



**1 ФОРМИРОВАНИЕ**  
Планеты-гиганты преобразуются в довольно плотное скопление вокруг и позади орбиты Юпитера.

Сатурн, Уран и Нептун спирально раскручиваются снаружи



**2 ДРЕЙФ СНАРУЖИ**  
Приливные силы заставили Сатурн, Уран и Нептун раскручиваться по наружной спирали.

точки обзора Венера также может показаться наклоненной под углом в  $177^\circ$ . Получается, планета перевернута вверх ногами или же близка к строго вертикальному положению, только вращается в обратную сторону.

## ПЛАНЕТНЫЙ ПИНБОЛ

Но что же сбilo многие крупные планеты Солнечной системы со своих осей? Касательно скальных планет, таких как Венера, ответом будут, вероятно, межпланетарные столкновения. Столкновения с более крупной планетой могли легко сбить их в наклонные траектории или изменить момент вращения планеты.

Однако гиганты велики по размеру, поэтому, чтобы сбить их оси, требуется большая сила. Так, для столкновения, которое могло бы сбить ось Урана на  $98^\circ$ , а Сатурна – на  $26^\circ$ , потребовалась бы норовистая планета размером с Землю, однако математические модели не указывают на возможность существования некоего объекта такого размера во внешней части Солнечной системы.

## КОЛЬЦА И СПУТНИКИ

Другая проблема состоит в том, что все гиганты окружены большими семьями из колец и спутников. Катастрофическое столкновение некоего объекта с родительской планетой должно было бы разбросать все эти маленькие тела в космосе. То, что они держатся экваториальной плоскости, позволяет предположить, что они либо сформировались именно в таком по-



### «ОПРОКИНУТЫЙ»

На рисунке изображен Уран, одно полушарие которого обращено к Солнцу. Его кольца кажутся вертикальными, поскольку планета наклонена под углом  $98^\circ$ .

ложению, либо же изменение оси наклона каждой планеты происходило настолько медленно, что приливным силам удавалось держать в узде спутники.

Если говорить о проблеме спутников, то нельзя исключать, что сам удар извне мог вызвать извержение материала из недр планеты, из которого и образовались спутники. Однако различия в химическом составе спутников и их родительских планет говорят о том, что они, скорее всего, появились на свет из внешних частей «подтуманности», сформировавшей каждую из этих планет.

## ДРУГИЕ ТЕОРИИ

Иная гипотеза гласит, что нечто (возможно, гравитация проходящей мимо звезды) вызвало «выпячивание» внешней части Солнечной системы. Но, даже если такое гипотетическое «выпячивание» действительно имело место, в компьютерных симуляционных моделях при таких условиях не удастся воссоздать Солнечную систему такой, какой мы ее знаем сегодня.

В 2006 году аргентинский астроном Адриан Брунини предположил, что оси наклона внешних планет являются результатом хаотичного периода, возникшего вскоре после формирования этих планет, когда их орбиты на краткий период сблизилась настолько, что разорвали друг друга (см. «Как это работает»). У каждой из этих теорий есть свои преимущества и слабые стороны, но мы, вероятно, так и не узнаем, какая же «травма» привела Уран в такое наклоненное положение.

### ГЛОССАРИЙ

**Закон сохранения импульсов** объясняет, почему при столкновении двух тел или их слиянии общий момент вращения системы остается прежним. Этот закон часто наблюдается на бильярдном столе.



**3 УВЕЛИЧЕННЫЙ ЭФФЕКТ** Сатурн в конце концов формирует резонанс с Юпитером, что усиливает гравитационное воздействие этих двух планет на их внешних соседей.



**4 ЭКСЦЕНТРИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ** Уран и Нептун под действием сил притяжения выходят на эксцентриские орбиты, что вызывает частые близкие встречи между ними и Сатурном.



**5 ПРИЛИВНЫЕ СИЛЫ** Повторные близкие встречи формируют приливные силы, стягивающие планеты с их первоначальных осей наклона.



**6 СЕГОДНЯШНИЕ ОРБИТЫ** По мере того как Сатурн раскручивается по спирали, он теряет резонанс с Юпитером. Уран и Нептун вращаются на своих сегодняшних орбитах, расположенных намного дальше, чем изначально.