

# Лекция по астрономии на тему: «Планеты гиганты»

## План

1. Общая информация 3
2. Отличия от планет земной группы 4
3. Юпитер 4
  - Первый гигант 4
  - Атмосфера 5
  - Кольца 6
  - Магнитное поле 7
  - Спутники 7
4. Сатурн 9
  - Строение планеты и атмосфера 9
  - Магнитное поле 11
  - Кольца 11
  - Спутники 14
5. Уран 14

- История открытия 14
- Строение планеты 15
- Особенности вращения 16
- Кольца 16
- Магнитное поле 17
- Спутники 17
- 6. Нептун 18
  - История открытия 18
  - Строение планеты 19
  - Кольца 21
  - Магнитное поле 22
  - Спутники 22
- 7. Список литературы 24

## Общая информация

В группу планет гигантов входят: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

Все эти планеты (и особенно Юпитер) имеют большие размеры и массы. Например, по объему Юпитер превосходит Землю почти в 1320 раз, а по массе - в 318 раз.

Планеты-гиганты очень быстро вращаются вокруг своих осей; менее 10 ч требуется огромному Юпитеру, чтобы совершить один оборот. Причем экваториальные зоны планет-гигантов вращаются быстрее, чем полярные. Результат быстрого вращения - большое сжатие планет-гигантов (заметное при визуальных наблюдениях). Разность экваториального и полярного радиусов Земли составляет 21 км, а у Юпитера она равна 4400 км.

Планеты-гиганты находятся далеко от Солнца, и независимо от характера смены времен года на них всегда господствуют низкие температуры. На Юпитере вообще нет смены времен года, поскольку ось этой планеты почти перпендикулярна к плоскости ее орбиты. Своеобразно происходит смена времен года и на планете Уран, так как ось этой планеты наклонена к плоскости орбиты под углом  $8^\circ$ .

Планеты-гиганты отличаются большим числом спутников; у Юпитера к середине 2001 года их обнаружено уже 28, Сатурна - 30, Урана - 21 и только у Нептуна - 8, а уже к 1.08.2006г. у Юпитера найдено 63 спутника, у Сатурна - 55, у Урана 29, а у Нептуна-13. Замечательная особенность планет-гигантов - кольца, которые открыты не только у Сатурна, но и у Юпитера, Урана и Нептуна.

Важнейшая особенность строения планет-гигантов заключается в том, что эти планеты не имеют твердых поверхностей. Такое представление хорошо согласуется с малыми средними плотностями планет-гигантов, их химическим составом (они состоят в основном из легких элементов - водорода и гелия), быстрым зональным вращением и некоторыми другими данными. Следовательно, все, что удастся рассмотреть на Юпитере и Сатурне (на более далеких планетах детали вообще не видны), происходит в протяженных атмосферах этих планет. На Юпитере даже в небольшие телескопы заметны полосы, вытянутые вдоль экватора. В верхних слоях водородно-гелиевой атмосферы Юпитера в виде примесей встречаются химические соединения (например, метан и аммиак), углеводороды (этан, ацетилен), а также различные соединения (в том числе содержащие фосфор и серу), окрашивающие детали атмосферы в красно-коричневые и желтые цвета. Таким образом, по своему химическому составу планеты-гиганты резко отличаются от планет земной группы. Это отличие связано с процессом образования планетной системы.

Вещество, находящееся под облачным слоем планет-гигантов, недоступно непосредственному наблюдению. О его свойствах можно судить по

некоторым дополнительным данным. Например, предполагают, что в недрах планет-гигантов вещество должно иметь высокую температуру.

В отличие от планет земной группы, обладающих корой, мантией и ядром, на Юпитере газообразный водород, входящий в состав атмосферы, переходит в жидкую, а затем и в твердую (металлическую) фазу. Появление таких необычных агрегатных состояний водорода (в последнем случае он становится проводником электричества), связано с резким увеличением давления по мере погружения в глубину. Так, на глубине, несколько большей 0.9 радиуса планеты, давление достигает 40 млн. атмосфер.

Возможно, что с быстрым вращением проводящего ток вещества, находящегося в центральных областях планет-гигантов, связано существование значительных магнитных полей этих планет. Особенно велико магнитное поле Юпитера. Оно во много раз превосходит магнитное поле Земли, причем полярность его обратна земной (у Земли вблизи северного географического полюса расположен южный магнитный). Магнитное поле планеты улавливает летящие от Солнца заряженные частицы (ионы, протоны, электроны и др.), которые образуют вокруг планеты пояса частиц высоких энергий, называемые радиационными поясами. Такие пояса из всех планет земной группы есть только у нашей планеты. Радиационный пояс Юпитера простирается на расстояние до 2,5 млн. км. Он в десятки тысяч раз интенсивнее земного. Электрически заряженные частицы, движущиеся в радиационном поясе Юпитера, излучают радиоволны в диапазоне дециметровых и декаметровых волн. Как и на Земле, на Юпитере наблюдаются полярные сияния, связанные с прорывом заряженных частиц из радиационных поясов в атмосферу, а также мощные электрические разряды в атмосфере (грозы).

### **Отличия от планет земной группы**

Планеты-гиганты отличаются от Меркурия, Венеры, Земли и Марса большими размерами, большей массой, меньшей плотностью, более быстрым вращением, гораздо более плотными атмосферами (на Меркурии атмосфера практически отсутствует, поэтому его дневное полушарие сильно накаляется, а все планеты-гиганты окружены мощными протяжёнными атмосферами), большим числом спутников.

Поскольку планеты-гиганты находятся далеко от Солнца, их температура (по крайней мере, над их облаками) очень низка: на Юпитере – 145°C, на Сатурне – 180°C, на Уране и Нептуне ещё ниже. А температура у планет земной группы значительно выше (на Венере до плюс 500°C). Малая средняя плотность планет-гигантов может объясняться тем, что она получается делением массы на видимый объём, а объём мы оцениваем по непрозрачному слою обширной атмосферы. Малая плотность и обилие водорода отличают планеты-гиганты от остальных планет.

## Ю п и т е р

первый гигант

Юпитер – вторая по яркости после Венеры планета Солнечной системы. Но если Венеру можно видеть только утром или вечером, то Юпитер иногда сверкает всю ночь. Из-за медленного, величественного перемещения этой планеты древние греки дали ей имя своего верховного бога Зевса; в римском пантеоне ему соответствовал Юпитер.

Дважды Юпитер сыграл важную роль в истории астрономии. Он стал первой планетой, у которой были открыты спутники. В 1610 г. Галилей, направив телескоп на Юпитер, заметил рядом с планетой четыре звёздочки, не видимые простым глазом. На следующий день они изменили своё положение и относительно Юпитера, и относительно друг друга. Наблюдая за этими звездами, Галилей заключил, что наблюдает спутники Юпитера, образовавшиеся вокруг него как центрального светила. Это была уменьшенная модель Солнечной системы. Быстрое и хорошо заметное перемещение галилеевых спутников Юпитера – Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто – делает их удобными "небесными часами", и моряки долгое время пользовались ими, чтобы определять положение корабля в открытом море.

В другой раз Юпитер и его спутники помогли решить одну из древнейших загадок: распространяется ли свет мгновенно или скорость его конечна? Регулярно наблюдая затмения спутников Юпитера и сравнивая эти данные с результатами предварительных расчетов, датский астроном Оле Рёмер в 1675 г. обнаружил, что наблюдения и вычисления расходятся, если Юпитер и Земля находятся по разные стороны Солнца. В этом случае затмения спутников запаздывают примерно на 1000 с. Рёмер пришёл к правильному выводу, что 1000 с. – это как раз то время, которое нужно свету, чтобы пересечь орбиту Земли по диаметру. Поскольку диаметр земной орбиты составляет 300 млн. километров, скорость света оказывается близкой к 300000км./с.

Юпитер – пятая планета от Солнца и самая большая планета-гигант Солнечной системы. Его экваториальный диаметр равен 143884 км, что в 11,209 раз превышает диаметр Земли и составляет 0,103 диаметра Солнца. Форма Юпитера не совсем сферическая, поскольку планета состоит из газа и жидкости и быстро вращается. Полярный диаметр Юпитера равен 133708 км. По объему Юпитер эквивалентен 1319 объемам Земли. Среднее расстояние от Солнца 5,2 а. е. (778,3 млн. км, минимальное 4,95 а. е., максимальное — 5,45 а. е.), сидерический период обращения 11,9 года, период вращения (облачного слоя близ экватора) около 10 часов. Юпитер движется вокруг Солнца по близкой к круговой эллиптической орбите, плоскость которой наклонена к плоскости эклиптики под углом  $1^{\circ}18,3'$ . Экватор наклонен к плоскости орбиты под углом  $3^{\circ}5'$ ; из-за малости этого угла сезонные изменения на Юпитере выражены весьма слабо. Расстояние Юпитера от Земли меняется в пределах от 188 до 967 млн. км. Масса Юпитера в 317,8 раз превосходит массу Земли и в 2,5 раза больше массы всех остальных планет, вместе взятых, но при этом

средняя плотность равна 1,33 г/см<sup>3</sup>, то есть в 4 раза меньше, чем у Земли. В противостоянии Юпитер виден как чуть желтоватая звезда -2,6 звездной величины; из всех планет уступает в блеске только Венере и Марсу во время великого противостояния последнего.

### Атмосфера

При визуальных наблюдениях диск Юпитера кажется пересеченным чередующимися светлыми зонами и темными поясами. Атмосфера толщиной в 27км состоит из молекулярного водорода (H<sub>2</sub>) - 89,8% и Гелия (He) - 10,2% так же в малых долях там присутствуют такие газы как: Метан (CH<sub>4</sub>); Аммиак (NH<sub>3</sub>); Этан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) и Вода (H<sub>2</sub>O). Согласно данным, полученным четырьмя космическими зондами, пролетевшими мимо Юпитера в 1973 - 1981гг ("Пионер-10 и -11", "Вояджер-1 и -2"), и АМС "Галилео", работающей на орбите планеты в 1995-2003гг, внутри этих полос наблюдается очень сложная система потоков. В каждом полушарии имеется пять или шесть таких полос, по направлению совпадающих с ветровыми течениями, вращающиеся вокруг оси планеты с различными угловыми скоростями (150 м/с (<30° широт); 40 м/с (>30° широт)). Быстрее всего вращается экваториальная зона — период ее обращения 9 ч 50 мин 30 с, что на 5 мин 11с меньше периода обращения полярных зон. Так быстро не вращается ни одна другая планета Солнечной системы. На Юпитере атмосферные процессы намного стабильнее, чем на Земле. Пояса облаков на Юпитере сохраняются годами и вращаются вокруг планеты со скоростью 480 км/ч. Штормы, перед которыми земные ураганы покажутся лишь легким ветерком, могут бушевать десятилетиями. Относительно долговечными деталями планеты являются белые или цветные овалы.

Наиболее известная и самая заметная из таких деталей - Большое Красное Пятно, которое наблюдается уже около 340 лет. Находясь в умеренных южных широтах Юпитера, оно медленно перемещается, делая за сто лет примерно 3 оборота. По краям Красного Пятна располагаются облака, состоящие из аммиака. По предыдущим наблюдениям космической станцией Galileo, также принадлежащей NASA, граничные области Большого Красного Пятна вращаются с большой скоростью против часовой стрелки, в то время как внутренняя часть медленно вращается в противоположном направлении. За последнее время Большое Красное Пятно несколько изменилось. На фотографиях, полученных ранее космическими кораблями NASA Voyager и Galileo, Пятно окружает темная область, что указывает на отсутствие облаков вокруг него. Теперь же эту область заполнили светлые аммиачные облака.

Цвет облаков меняется с высотой: синие структуры - самые верхние, под ними лежат коричневые, затем белые. Красные структуры - самые низкие. Красноватый оттенок планеты приписывают главным образом присутствию в атмосфере красного фосфора и, возможно, органике, возникающей благодаря электрическим разрядам. В области, где давление порядка 100 КПа, температура составляет около 160°К.

Температура верхних облаков составляет -130°С. Суточный температурный диапазон составляет 184°К - 242°К / -89°С - -31°С. Юпитер выделяет на 60% больше энергии, чем получает от Солнца. В атмосфере Юпитера замечены грозы. Атмосфера отражает 45% падающего

солнечного света. Установлено также наличие ионосферы, протяженность которой по высоте — порядка 3000 км.

Зонд с АМС "Галилео" в 1995г парашютировал сквозь верхние слои атмосферы Юпитера, опустившись на 150 км вглубь атмосферы, передавая данные относительно состава и физических условий среды. Наземные наблюдения места вхождения зонда показали, что оно, по-видимому, было относительно свободно от облаков. Этим можно объяснить, почему не было получено почти никаких подтверждений существования ожидаемых трех слоев облаков (состоящих на самых больших высотах из кристаллов аммиака, гидросульфида аммония в середине, а внизу - из водяных и ледяных кристаллов). Скорость ветра, достигающая 530 км/час, оказалась даже больше, чем ожидалось. В то же время содержание гелия составило только около половины ожидаемого. Вероятное объяснение этого явления - увеличение концентрации гелия к центру планеты.

В 1997г космический телескоп Hubble впервые обнаружил Большое Темное пятно возле северного полюса планеты. В конце 2000г зонд Cassini с 1 октября по 15 декабря фотографировал пятно во всех подробностях с помощью УФ-камеры. В течение 11 недель это пятно росло в размерах, закручивалось, темнело и меняло форму. Потом, когда зонд Cassini стал удаляться от Юпитера, пятно стало бледнеть. По мнению специалистов, Темное пятно на Юпитере может быть относительно кратковременным "облачным" явлением, поэтому телескоп Hubble и видел его лишь однажды. И если бы Cassini пролетал мимо Юпитера на месяц или два позже, то он, может быть, не увидел бы никакого пятна. Есть и другое мнение. Возможно, темное пятно является каким-то побочным эффектом полярных сияний на Юпитере. Там они в сотни и тысячи раз ярче, чем на Земле, ведь магнитное поле Юпитера намного сильнее земного, а сам Юпитер является мощным источником электронов и ионов (для земных полярных сияний заряженные частицы поставляет Солнце).

### Кольца

В 1979 году во время прохождения мимо планеты космического аппарата Вояджер-1 на Юпитере были обнаружены кольца, однако, их происхождение оставалось загадкой. Позднее космическим аппаратом Галилей, который находился на орбите вокруг Юпитера с 1995 по 2003 годы, были получены данные о том, что эти кольца возникли в результате столкновения метеорных тел с небольшими спутниками Юпитера. Например, небольшое метеорное тело, ударившись в крошечную Адрастею, вонзится в нее и испарится, в результате чего большие количества грязи и пыли будут выброшены на орбиту вокруг Юпитера. На рисунке показано затмение Солнца Юпитером, так, как оно наблюдалось с космического аппарата Галилей. Маленькие пылевые частицы в высоких слоях атмосферы Юпитера, а также частицы пыли, которые входят в состав колец, видны в отраженном солнечном свете

### Магнитное поле

Радиоизлучение Юпитера, обнаруженное в 1955г, послужило первым признаком наличия у него сильного магнитного поля, которое в 4000 раз сильнее земного и простирается на 650 миллионов километров (за орбиту Сатурна!). Его магнитный дипольный момент почти в 12000 раз

превосходит дипольный момент Земли, но так как напряженность магнитного поля обратно пропорциональна кубу радиуса, а он у Юпитера на два порядка больше, чем у Земли, то напряженность у поверхности Юпитера выше, по сравнению с Землей, только в 5-6 раз. Магнитная ось наклонена к оси вращения на  $(10,2 \pm 0,6)^\circ$ . Юпитер обладает обширной магнитосферой, которая подобна земной, но увеличена примерно в 100 раз. Закручивание электронов вокруг силовых линий порождает радиоизлучение, причем задержанные около планеты электроны дают синхротронное излучение в диапазоне дециметровых волн. Декаметровое излучение, наблюдаемое только от некоторых областей планеты, связано с взаимодействием ионосферы Юпитера со спутником Ио, орбита которого проходит внутри огромного плазменного тора. Это взаимодействие порождает также полярные сияния. Обнаруженное "Вояджерами" излучение в километровых длинах волн возникает в высоких широтах планеты и в плазменном торе. Зонд обнаружил также интенсивный радиационный пояс.

Наблюдая 18 декабря 2000 года в течение 10 часов, удалось обнаружить пульсирующий источник рентгеновского излучения в полярных районах верхних слоев атмосферы Юпитера с помощью оборудования орбитального телескопа "Chandra". Вспыхивает наподобие маяка каждый 45 минут. Никакие из существующих ныне теорий не могут объяснить ни природу возникновения излучения, ни его пульсирующий характер.

Открыты таинственные следы, оставляемые ближайшим к Юпитеру крупным спутником Ио, в ионосфере планеты - в области, расположенной над атмосферой, в которой и образуются полярные сияния. Удалось также обнаружить, что два других галилеевых спутника - Ганимед и Европа - также оставляют подобные "магнитные следы" овальной формы, хотя и меньшие по интенсивности. О том, что Ио, знаменитый своей исключительной вулканической активностью, оставляет подобные следы, ученым было известно и ранее. Удивительным оказалось то, что такие же следы оставляют и два других спутника, на которых вулканической деятельности не зафиксировано. Вопрос о том, "чертит" ли в магнитосфере Юпитера и свой след последний из крупных спутников планеты - Каллисто - останется, по всей видимости, загадкой еще на многие годы.

### Спутники

Первые четыре спутника (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто) были открыты Г. Галилеем еще в 1610г. Это открытие послужило мощным толчком к утверждению гелиоцентрической системы мира Коперника, явившись яркой моделью этой системы. После пролета "Вояджером" в 1979г стало известно шестнадцать естественных спутников, вращающихся вокруг Юпитера. Они разделяются на четыре группы. По круговым орбитам в экваториальной плоскости движутся четыре маленьких внутренних спутника (Метида, Адрастея, Амальтея и Теба) и четыре больших галилеевых спутника (Ио, Европа, Ганимед и Каллисто). Третья группа (Леда, Гималия, Лиситея и Элара) - маленькие спутники на круговых орбитах, наклоненных под углом  $25^\circ - 29^\circ$  к экваториальной плоскости и лежащих на расстоянии 11 - 12 млн. км от Юпитера. Внешняя группа (Ананке, Карме, Пасифе и Синопе - названы по именам возлюбленных Юпитера) - маленькие спутники с обратным движением по орбитам. Эти орбиты являются относительно вытянутыми эллипсами с существенным наклоном к экваториальной плоскости и лежат на расстоянии 21 - 24 млн. км от Юпитера. Полагают, что это захваченные планетой астероиды. Четыре галилеевых спутника и их движения по орбите можно легко увидеть в маленький телескоп или бинокль. К концу 2000 года было открыто 10 небольших спутников и

общее количество спутников Юпитера стало 28. В конце ноября - начале декабря 2000 года профессором Дэвидом Джевиттом (David Jewitt) и аспирантом С. Шеппардом (S. Sheppard) из Гавайского университета, которые вели наблюдения с помощью камеры 2,2-метрового телескопа на горе Мауна Кеа и открыли 10 спутников. Девять лун находятся на расстоянии 21-24млн. км от планеты и вращаются в обратном направлении по вытянутым эллиптическим орбитам с наклоном от 15° до 30°, а одна на удалении 13млн. км и вращается в прямом направлении. Эта же команда в 2001-2003гг (к 1 июня 2003г) довела общее число открытых спутников до 61. Это небольшие луны до 4 км в диаметре, по видимому захваченные Юпитером уже позже.

Галилеевы спутники			
<b>ИО</b>	<b>ЕВРОПА</b>	<b>ГАНИМЕД</b>	<b>КАЛЛИСТО</b>

Галилеевские	Масса (10 <sup>20</sup> кг)	Радиус (км)	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Радиус орбиты (10 <sup>3</sup> км)	Орбитальный период (дней)	Наклон орбиты	Эксцентриситет
1 ИО (JI), 7.01.1610	893,2	1821,6	3530	421,6	1,7691	0,04	0,004
2 Европа (JII), 7.01.1610	480,0	1560,8	3010	670,9	3,5512	0,47	0,0101
3 Ганимед (JIII), 7.01.1610	1481,9	2631,2	1940	1070,4	7,1545	0,21	0,0015
4 Каллисто (JIV), 7.01.1610	1075,9	2410,3	1830	1882,7	16,6890	0,51	0,007

## С а т у р н

### Строение планеты и атмосфера

Шестая от Солнца планета-гигант Солнечной системы. Сатурн - один из четырех "газообразных гигантов", уступающий в размере только Юпитеру. Его экваториальный диаметр в 9,4 раза больше земного, а масса превышает земную в 95 раз. Максимальное и минимальное расстояния от Солнца равны приблизительно 10 и 9 А.е. Расстояния от Земли меняются от 1,2 до 1,6 млрд. км. Наклон орбиты планеты к плоскости эклиптики 2°29,4'. Угол между плоскостями экватора и орбиты достигает 26°44'. Средняя плотность вещества планеты составляет

0,7 от плотности воды. Большая часть массы представлена водородом и гелием. Планета не имеет четкой твердой поверхности, оптические наблюдения затрудняются непрозрачностью атмосферы. Для экваториального и полярного радиусов приняты значения 60 тыс. км и 53,5 тыс. км. На земном небе Сатурн выглядит как желтоватая звезда, блеск которой меняется от нулевой до первой звездной величины.

Поверхность Сатурна (облачный слой), как и Юпитера, не вращается как единое целое. Тропические области в атмосфере Сатурна обращаются с периодом 10 ч 14 мин земного времени, а на умеренных широтах этот период на 26 мин больше. В результате появляется существенное сжатие у полюсов: полярный и экваториальный диаметры отличаются на 11%. В апреле-июне 2004г более точно был определен период вращения Сатурна в 10 часов 45 минут и 45 секунд ( $\pm 36$  секунд), что на 6 мин больше, чем считалось ранее.

По внутреннему строению и составу Сатурн сильно напоминает Юпитер. В частности, на Сатурне в экваториальной области также существует Красное Пятно, хотя оно и меньших размеров, чем на Юпитере. Ниже атмосферы простирается океан жидкого молекулярного водорода. На глубине, примерно равной  $R/2$  водород при давлении около 300 ГПа (3 млн. атмосфер) переходит в металлическую фазу. Течения в этом металлическом океане генерируют довольно сильное магнитное поле Сатурна. В центре планеты находится массивное ядро (до 20 земных масс) из камня, железа и, возможно... льда. По мере дальнейшего увеличения глубины, начиная с  $R/3$ , возрастает доля соединений водорода и оксидов. В центре планеты (в области ядра, образованного твердыми породами или смесью твердых пород и льда) температура порядка 20000 К. Масса ядра в десять или пятнадцать раз превышает массу Земли.

Внешняя половина планеты состоит из мощной атмосферы, имеющая высоту в 59,5км (самая большая из планет СС), а видимые детали представляют собой полосы облаков в верхних атмосферных слоях. В состав атмосферы входят молекулярный водород ( $H_2$ ) - 96,3%; Гелий (He) - 3,25%, а также присутствуют Метан ( $CH_4$ ); Аммиак ( $NH_3$ ); Этан ( $C_2H_6$ ). Температура в средних слоях атмосферы около 100 К. Для облаков на Сатурне большие цветовые контрасты не характерны. Однако иногда наблюдается штормовая активность. В конце сентября 1990г в атмосфере появилось большое Белое пятно, расширявшееся в течение нескольких недель, пока оно не заняло значительную часть экваториальной области планеты. Это извержение вещества из более низких атмосферных слоев было очередным в цепи аналогичных явлений, происходящих с 30-летним циклом, соответствующим периоду обращения Сатурна. Подобные пятна отмечались в 1876, 1903, 1933 и 1960гг около середины сатурнианского лета в северном полушарии. Время от времени происходят и более слабые извержения. Одно из них наблюдалось Космическим телескопом "Хаббл" в 1994г. Компьютерная обработка изображений, полученных "Вояджером-1 и -2" в 1980 и 1981гг, выявила сложные циркуляционные потоки, подобные наблюдаемым на Юпитере.

В 1980-1981г на основе сделанных ими фотографий была вычислена скорость экваториального ветра, она составила около 1700 км/ч. В 1996-2002 годах за Сатурном наблюдали с помощью космического телескопа Hubble. И выяснилось, что на экваторе Сатурна скорость ветра неожиданно упала до 990 км/час. Почему это произошло, пока неизвестно. Наблюдаемые ветры симметричны относительно экватора, уменьшающиеся в скорости по удалении от экватора и дуют в большей части в восточном направлении (направлении вращения планеты). В

основном скорость ветра составляет 400 м/с (<30° широт); 150 м/с (>30° широт). Наблюдаются зарождающиеся и дрейфующие в атмосфере вихри диаметром в сотни и тысячи км, которые могут сливаться (Слияние двух “циклонов” было зафиксировано 19-20 марта 2004г. Тогда буря, двигавшаяся с севера планеты со скоростью 11 метров в секунду “поглотила” бурю, двигавшуюся с юга со скоростью 6 метров в секунду. После этого на Сатурне образовались яркие “облака”, которые через два дня рассеялись, превратившись в гало). С помощью инфракрасного телескоп Keck I на Гавайях в конце января 2005г удалось зафиксировать в атмосфере Сатурна реактивную струю - теплый вихрь в районе южного полюса, однако, хотя он и самый теплый на планете, но точную его температуру измерить не удалось

В атмосфере Сатурна, еще американские космические корабли Voyager фиксировала молнии с завидной регулярностью в миллион раз сильнее, чем земные. Исследовательский зонд Cassini с помощью своего детектора радио и плазменных волн определил, что молнии, время от времени вспыхивающие в атмосфере Сатурна, но ведут себя уже не так, как это было в начале 1980-х годов. Они стали очень хаотичными: бывают дни, когда Cassini не улавливает ни одной молнии, а в другие дни фиксируется несколько грозовых разрядов. По видимому причина изменившейся регулярности вспышек молний в том, что тень от колец Сатурна сейчас падает на планету не так, как это было в начале 1980-х годов. Космический аппарат "Кассини", находящийся на орбите Сатурна, обнаружил на нем молнии и новый радиационный пояс, а также сияние вокруг крупнейшего спутника планеты. 5 августа 2005 радиоприборы и плазменно-волновое научное оборудование "Кассини" обнаружили радиоволны, образуемые молнией. Радиосигналы от этой молнии весьма эпизодичны и порой сопровождаются лишь слабой вспышкой, которой может и вообще не быть. Это позволяет предположить, что в средних и высоких широтах происходит ряд различных, возможно, недолговечных бурь. "Кассини" помог сделать ученым и еще одно открытие - с помощью магнитосферического прибора для формирования изображения чуть выше вершин облаков Сатурна обнаружен простирающийся вокруг планеты новый радиационный пояс. Визуальный и инфракрасный картографический спектрометр на борту "Кассини" зафиксировал на Титане дневное и ночное сияние, образуемое выбросами метана и окиси углерода в плотную атмосферу спутника. Освещенное Солнцем флуоресцентное метановое сияние в верхних слоях атмосферы Титана ожидалось, ночное же сияние стало сюрпризом. Также у Сатурна имеются мощные радиационные пояса и сильное магнитное поле, несколько уступающие Юпитеру.

### Магнитное поле

До тех пор, пока первые космические аппараты не достигли Сатурна, наблюдательных данных о его магнитном поле не было вообще, но из наземных радиоастрономических наблюдений явствовало, что Юпитер обладает мощным магнитным полем. Об этом свидетельствовало тепловое радиоизлучение на дециметровых волнах, источник которого оказался больше видимого диска планеты, причем он вытянут вдоль экватора Юпитера симметрично по отношению к диску. Такая геометрия, а также поляризованность излучения свидетельствовали о том, что наблюдаемое излучение магнитно-тормозное и источник его - электроны, захваченные магнитным полем Юпитера и населяющие его радиационные пояса, аналогичные радиационным поясам Земли. Полеты к Юпитеру подтвердили эти выводы. Поскольку Сатурн весьма сходен с Юпитером по своим физическим свойствам, астрономы предположили, что достаточно заметное магнитное поле есть и у него.

Отсутствие же у Сатурна наблюдаемого с Земли магнитно-тормозного радиоизлучения объясняли влиянием колец. Эти предложения подтвердились. Еще при полете "Пионера-11" к Сатурну его приборы зарегистрировали в около планетном пространстве образования, типичные для планеты, обладающей ярко выраженным магнитным полем: головную ударную волну, границу магнитосферы (магнитопаузу), радиационные пояса (Земля и Вселенная, 1980, №2, с.22-25 - Ред.). В целом магнитосфера Сатурна весьма сходна с земной, но, конечно, значительно больше по размерам. Внешний радиус магнитосферы Сатурна в подсолнечной точке составляет 23 экваториальных радиуса планеты, а расстояние до ударной волны - 26 радиусов. Для сравнения можно напомнить, что внешний радиус земной магнитосферы в подсолнечной точке - около 10 земных радиусов. Так что даже по относительным размерам магнитосфера Сатурна превосходит земную более чем вдвое. Радиационные пояса Сатурна настолько обширны, что охватывают не только кольца, но и орбиты некоторых внутренних спутников планеты. Как и ожидалось, во внутренней части радиационных поясов, которая "перегорожена" кольцами Сатурна, концентрация заряженных частиц значительно меньше. Причину этого легко понять, если вспомнить, что в радиационных поясах частицы совершают колебательные движения примерно в меридиональном направлении, каждый раз пересекая экватор. Но у Сатурна в плоскости экватора располагаются кольца: они поглощают почти все частицы, стремящиеся пройти сквозь них. В результате внутренняя часть радиационных поясов, которая в отсутствие колец была бы в системе Сатурна наиболее интенсивным источником радиоизлучения, оказывается ослабленной. Тем не менее "Вояджер-1", приблизившись к Сатурну, все же обнаружил нетепловое радиоизлучение его радиационных поясов.

В отличие от Юпитера Сатурн излучает в километровом диапазоне длин волн. Заметив, что интенсивность излучения модулирована с периодом 10ч. 39,4 мин., предположили, что это и есть период осевого вращения радиационных поясов, или, другими словами, период вращения магнитного поля Сатурна. Но тогда это и период вращения Сатурна. В самом деле, магнитное поле Сатурна порождается электрическими токами в недрах планеты, - по-видимому, в слое, где под влиянием колоссальных давлений водород перешел в металлическое состояние. При вращении этого слоя с той угловой скоростью вращается и магнитное поле. Вследствие большой вязкости вещества внутренних частиц планеты все они вращаются с одинаковым периодом. Таким образом, период вращения магнитного поля - это в то же время период вращения большей части массы Сатурна (кроме атмосферы, которая вращается не как твердое тело).

### Кольца

Кольцевые структуры, которые окружают Сатурн, состоят из множества небольших тел и пылевых масс. Кольца Сатурна были открыты в 1610г (их открытие принадлежит Галилею, первому человеку, взглянувшему на небо в телескоп). В 1857г Джеймс Клерк Максвелл доказал теоретически, что кольца должны состоять из множества несвязанных частиц, что позже и было подтверждено спектроскопическими наблюдениями А.А. Белопольского в 1895г - оказалось, что внутренние частицы движутся по орбите быстрее внешних.

Частицы вещества, находящиеся в диске вокруг формирующейся планеты, могут слипаться, образуя спутники; ближе к планете образованию спутников препятствуют приливные силы. Кольца лежат в экваториальной плоскости планеты, которая наклонена к орбите обращения вокруг

Солнца под углом  $27^\circ$ . Общая ширина колец - 275 тысяч км, а толщина в некоторых местах не превышает нескольких десятков *метров*, достигая в максимуме 1,5 км по последним данным, полученным с КА Кассини. Современные астрономы полагают, что возраст колец составляет всего лишь сто миллионов лет. Кольца можно легко увидеть даже в небольшой телескоп. По мере изменения относительного расположения Земли и Сатурна кольца предстают под разными углами, иногда полностью открываясь, а иногда (при наблюдении с ребра) почти исчезая из вида (период 29,5 лет). Кольца Сатурна имеют ряд зон различной яркости, разделенных темными промежутками. Наиболее заметные промежутки - щели Кассини и Энке. Полученные "Вояджерами" изображения колец показали, что они состоят из многих тысяч узких концентрических колечек, так что кольца кажутся прорезанными многочисленными желобками. В толщину они имеют только один километр и состоят из огромного количества частиц и каменных осколков, размер которых составляет, возможно, от микрона до сотни метров. В результате набора пыли и динамического взаимодействия со спутниками Сатурна произойдет потемнение колец и постепенное "проседание" их в сторону планеты-гиганта. В течение следующих нескольких сотен миллионов лет они могут потерять свой блеск.

Кольца Сатурна имеют гораздо большую сложность и протяженность, чем у других планет. Хорошо видимые с Земли, эти кольца были обозначены символами А, В и С (самое слабое внутреннее кольцо С называют также "Креповым кольцом". Открыто В. Бондом в 1850 г. Название дано позже У. Ласселлом и связано с внешним видом кольца). Кольца А и В разделены щелью Кассини (открыл Дж. Кассини в 1675 г). Кроме того, имеется узкий, но заметный промежуток у внешнего края кольца А, носящий название щели Энке, или промежутка Энке (открыта И. Энке в 1837 г). Внутри щели Энке видно узкое волнообразное колечко. В 1990 г был открыт маленький спутник Пан, орбита которого также лежит внутри щели. "Вояджер-1" обнаружил вещество и внутри кольца С, которое было названо кольцом D. Вне кольца А лежат узкие разреженные кольца, известные как кольца E, F и G.

Предполагается, что частицы колец состоят из смеси водяного льда и пыли и имеют размеры от нескольких микрон до сотни метров. Однако их состав неоднороден, что видно на полученных "Вояджером-1" изображениях, на которых имеются заметные изменения цвета. Эти изображения также показывают, что кольца состоят из тысяч узких близко расположенных "колечек". Многие детали наблюдаемых структур приписываются гравитационному воздействию спутников. Например, Пандора и Прометей играют как бы роль "пастухов" на границе кольца F, а щель Кассини расположена там, где мог бы обращаться спутник с периодом, составляющим половину периода Мимаса (этот факт можно считать примером явления резонанса). Кольца состоят из ледяных и (или) силикатных образований.

"Так узкое F-кольцо от "расплывания" своим гравитационным полем удерживает Пандора, а Прометей "следит" за состоянием внутреннего края этого же кольца. В 1980 и 1981 г. в окрестностях Сатурна пролетали американские исследовательские зонды Voyager 1 и 2, которые провели съемку колец Сатурна и его спутников. В частности, на основе этих снимков были рассчитаны орбиты Прометея и Пандоры. Однако наблюдения этих двух спутников в течение последних лет показали, что они находятся совсем не там, где должны были бы. Пандора "убежала" по своей орбите вперед почти на 20 градусов (это соответствует 160 тысячам км), а Прометей наоборот почти на столько же отстает от

"графика".

Сравнивая информацию, переданную в 1981 году во время пролета около Сатурна американской межпланетной автоматической станцией "Вояджер", с информацией, переданной "Кассини", специалисты расположенной в Пасадине (штат Калифорния) Лаборатории реактивного движения, откуда осуществляется управление "Кассини", в частности, установили, что за это время внутреннее кольцо D Сатурна стало существенно менее ярким и один его фрагмент почему-то на 200 км приблизился к поверхности планеты-гиганта. Причем последние данные с космического зонда Cassini показали, что у колец Сатурна есть своя атмосфера, независимая от планетарной. Пролетая недалеко от этих 1,5 километровых сгустков водяного льда, скальных пород и пыли, зонд зафиксировал окружающую их оболочку, состоящую в основном из молекулярного кислорода. По результатам наблюдений за спутником Сатурна Энцеладом и последним более детальные изображения кольца E к июлю 2006 года был сделан вывод, что его полярные гейзеры являются основным источником подпитки кольца E Сатурна. Новые изображения, сделанные зондом в плоскости кольца E, выявили его двойную структуру. Плотность вещества минимальна в его центре и максимальна по краям кольца, на расстояниях 0,5 - 1 км от центра. Этот эффект можно объяснить тем, что частицы в кольце движутся по наклонным орбитам с небольшими углами. Подобное явление наблюдается в разреженном кольце Юпитера и в пылевых кольцах главного пояса астероидов.

В принципе, возможная хаотичность движения Пандоры предсказывалась еще в 1982г, и теперь она подтвердилась. Астрономы из Лаборатории реактивного движения NASA провели расчеты гравитационных взаимодействий Пандоры и Прометея и пришли к выводу, что такое их поведение объясняется главным образом взаимным притяжением. Примерно раз в 28 дней они пролетают мимо друг друга на относительно небольшом расстоянии. Так как орбиты и у Пандоры и у Прометея немного эллиптические, то расстояние между ними и, следовательно, сила гравитационного взаимодействия во время сближений меняется. Эти возмущения не имеют периодического характера, и спрогнозировать их практически невозможно, но за 20 лет из-за них Прометей и Пандора оказались совсем не там, где их ожидали увидеть. Тем не менее, общими усилиями Прометея и Пандора удерживают F-кольцо мелких обломков в компактном состоянии. Пандора толкает их внутрь в направлении к Сатурну, а Прометей выталкивает их наружу. Тем не менее, F-кольцо со временем очень медленно расширяется, так же как и остальные кольца.

### Спутники

Спутники названы в честь героев античных мифов о титанах и гигантах. Почти все эти космические тела светлые. У наиболее крупных спутников формируется внутреннее каменистое ядро. Название «ледяные» спутники наиболее соответствует спутникам Сатурна. Некоторые из них имеют среднюю плотность  $1,0 \text{ г/см}^3$ , что больше соответствует водяному льду. Плотность других несколько выше, но тоже невелика (исключение - Титан). До 1980г были известны десять спутников Сатурна. С тех пор было открыто еще несколько. Одна часть была обнаружена в результате телескопических наблюдений в 1980г, когда система колец была видна с ребра (и благодаря этому наблюдениям не

мешал яркий свет), а другая - при пролетах АМС "Вояджер-1 и -2" в 1980 и 1981гг. После чего у планеты стало 17 спутников. В 1990г открыт 18-й спутник, а в 2000 году еще 12 небольших спутников, по всей видимости, захваченных планетой астероидов. В конце 2004г Гавайские астрономы обнаружили еще 12 новых спутников неправильной формы диаметром от 3 до 7 километров. Версию о захвате подтверждает то, что 11 из 12 тел обращаются вокруг планеты в направлении, отличном от свойственного "основным" спутникам. Об этом же свидетельствует сильная вытянутость и исключительно большой - порядка 20 миллионов километров - диаметр орбит.

## У р а н

### История открытия

В течение многих веков астрономы Земли знали только пять «блуждающих звезд» — планет. Уран виден как звездочка шестой звездной величины, поэтому с 1690 года астрономы несколько раз отображали его в качестве звезды на своих картах. 1781г был ознаменован открытием Урана. Это произошло, когда английский астроном У. Гершель приступил к реализации грандиозной программы: составлению полного систематического обзора звездного неба. Систематические планомерные обзоры начал с 1775г по новому, предложенному им «методу черепков». Собственноручно изготовил рефлектор длиной почти 2 метра и диаметром главного зеркала в 20 см. И с помощью своего нового инструмента начал в 1775 году обзор всего неба, видимого из Бата. В перерывах между уроками музыки Гершель шлифовал металлические зеркала для телескопов, вечерами давал концерты, а ночи проводил за наблюдением звезд.

В ходе второго планомерного обзора 13 марта 1781г в 10 часов вечера вблизи одной из звезд созвездия Близнецов Гершель заметил любопытный объект, который явно не был звездой: его видимые размеры менялись в зависимости от увеличения телескопа, а главное, менялось его положение на небосводе. Гершель первоначально решил, что открыл новую комету (его доклад на заседании Королевского общества 26 апреля 1781 так и назывался — «Сообщение о комете»), но от кометной гипотезы вскоре пришлось отказаться. Через 4 месяца российский астроном А.И. Лексель доказал, что это планета. В благодарность Георгу III, назначившему Гершеля королевским астрономом, последний предложил назвать планету «Георгиева звезда», однако, чтобы не нарушать традиционной связи с мифологией, было принято название «Уран», предложенное И. Боде. Окончательно данное название было утверждено в 1850г.

Первые немногочисленные наблюдения еще не позволяли достаточно точно определить параметры орбиты новой планеты, но, во-первых, число этих наблюдений (в частности, в России, Франции и Германии) быстро увеличивалось, и, во-вторых, внимательное исследование каталогов прошлых наблюдений позволило убедиться, что планета неоднократно фиксировалась и прежде, но принималась за звезду, что также заметно увеличивало число данных. Так, например Джон Флемстид в 1690г катализировал Уран как звезду 34 Тельца.

В течение 30 лет после открытия Урана острота интереса к нему периодически падала, но только на время. Дело в том, что повышение

точности наблюдений выявило загадочные аномалии в движении планеты: оно то «отставало» от расчетного, то начинало «опережать» его. Теоретическое объяснение этих аномалий привело к новым открытиям - обнаружению заурановых планет

### Строение планеты

УРАН - седьмая от Солнца большая планета Солнечной системы, относится к планетам-гигантам. Уран достаточно ярок, так что при хороших условиях наблюдения его можно увидеть невооруженным глазом. С Земли даже в самый большой телескоп он кажется зеленоватым диском, почти лишенным деталей. В 1986г первый и пока единственный космический зонд "Вояджер-2" прошел недалеко от Урана и его спутников, передав на Землю их крупноплановые изображения. "Вояджером-2" были открыты десять небольших спутников Урана (к этому времени были уже известны пять больших спутников планеты - Миранда, Ариэль, Умбриэль, Титания и Оберон - название последним четверем дал У. Ласселл). Сравнительно недавно в 1997-1999гг открыты еще 6 небольших спутников планеты, в 2003г еще три, а в 2005г еще два.

Уран - один из четырех "газовых гигантов" Солнечной системы. Его экваториальный радиус почти в четыре раза, а масса в 14,6 раза больше, чем у Земли. Сжатие поверхности составляет почти сороковую часть (586км). Относительно малая плотность типична для планет-гигантов: в процессе формирования из газовой-пылевой протопланетного облака наиболее легкие компоненты (в первую очередь, водород и гелий) стали для них основным «строительным материалом», тогда как планеты земной группы включают заметную долю более тяжелых элементов. Уран - единственная планета-гигант Солнечной системы, которая не имеет мощного внутреннего источника тепла и излучает практически столько же, сколько получает от Солнца. Причина этого пока не известна.

Атмосфера Урана вращается в ту же сторону, что и планета в целом. В средних широтах ветер дует в направлении движения планеты со скоростью около 150 м/сек, в экваториальной зоне ветер дует в обратном направлении со скоростью около 100 м/сек. Температура атмосферы максимальна около экватора, понижается на несколько градусов к средним широтам и снова растет к полюсу. Атмосфера Урана высотой 27,7км состоит из молекулярного водорода ( $H_2$ ) - 82,5%; гелий (He) - 15,2% и метана ( $CH_4$ ) - 2,3%, а также небольшой доли веществ, являющихся результатом фотолиза метана: ацетилен  $C_2H_2$ , диацетилен  $C_4H_2$ , этилен  $C_2H_4$  и этан  $C_2H_6$ , а также более сложные углеводороды, образующие тонкую надоблачную дымку. Молекулы метана активно поглощают красные лучи, что придает диску Урана голубовато-бирюзовый цвет. На крупных планах планеты, полученных "Вояджером", Уран имеет "спокойный", почти лишенный деталей вид, хотя и имеются некоторые намеки на слабые полосы, параллельные экватору. Инструменты "Вояджера" обнаружили отчасти более холодную полосу между 15 и 40-ка градусами широты, где температура на 2-3 К ниже.

Основной слой облаков на Уране расположен на уровне давления 2,4-3,4 атмосферы и состоит из замерзшего сероводорода  $H_2S$ . Температура в

этой области составляет около 100К (-173С). Ниже первого слоя облаков, на уровне давления 20-30 атмосфер, расположен второй облачный слой из гидросульфида аммония  $\text{NH}_4 \text{SH}$ . Еще глубже (на уровне давления около 50 атмосфер) находятся облака из водяного льда.

Температурный минимум (тропопауза) в атмосфере Урана составляет 52К (-221С) и достигается при давлении 0,1 атмосферы. При такой низкой температуре конденсируются пары продуктов фотоллиза метана (ацетилен, диацетилен и др.), образуя тонкую надоблачную дымку. Ранее считалось, что именно оптически толстая дымка скрывает разнообразные облачные детали на диске Урана, однако, согласно данным "Вояджера-2", оптическая толщина надоблачного воздуха составляет всего от 0,3 до 0,9, а поглощение солнечного света в основном обусловлено поглощением в линиях метана и молекулярного водорода, уширенных из-за частых взаимных столкновений молекул. Надоблачная атмосфера Урана чиста и прозрачна.

Выше тропопаузы лежит стратосфера - область атмосферы, где температура растет с высотой. На уровне давления 10-8 атмосфер температура составляет около 800К и дальше с высотой уже не меняется. Дневная освещенность на Уране соответствует земным сумеркам сразу после захода Солнца. Недавние наблюдения позволили рассмотреть большие облака. Есть предположение о том, что эта возможность появилась в связи с сезонными эффектами, ведь как не трудно сообразить, зима от лета на Уране сильно разниться: целое полушарие зимой на несколько лет прячется от Солнца!

#### Особенности вращения

У большинства планет ось вращения почти перпендикулярна плоскости эклиптики (эклиптика - видимый годовой путь Солнца на небесной сфере), но ось Урана почти параллельна этой плоскости. Причины "лежачего" обращения Урана неизвестны. Зато в действительности существует спор: какой из полюсов Урана — северный. Разговор этот отнюдь не подобен спору о палке с двумя концами и двумя началами. То, как же на самом деле сложилась такая ситуация с вращением Урана, очень многое значит в теории возникновения всей Солнечной системы, ведь почти все гипотезы подразумевают вращение планет в одну сторону. Если Уран образовался, лежа на боку, то это сильно не состыкуется с догадками о происхождении нашей планетной системы. Правда, сейчас все больше полагают, что такое положение Урана — результат столкновения с большим небесным телом, возможно крупным астероидом, на ранних стадиях формирования Урана.

#### Кольца

10 марта 1977г международная команда астрономов из США, Австралии, Индии и Южной Африки у Урана была открыта серия узких колец, лежащих в экваториальной плоскости во время покрытия Ураном звезды SAO 158687 8-й звездной величины. Кольца вызвали небольшое падение наблюдаемой яркости этой звезды непосредственно до и сразу после ее покрытия диском планеты. На представленных фотографиях в инфракрасных лучах сотрудниками Калифорнийского технологического института К. Метьюз и Г. Нойгебауэр определено наличие девяти

темных колец (состоят из частиц, не покрытых льдом). Более поздние покрытия Беты Скорпиона и Сигмы Стрельца подтвердили полученный результат. Система колец в 1986г была сфотографирована "Вояджером-2", когда были обнаружены еще два кольца, а общее их количество достигло одиннадцати.

Камеры "Вояджера" показали, что девять основных колец погружены в мелкую пыль. Ширина их всего 1–10 км, только самое широкое внешнее кольцо имеет размер 96 км. Кольца Урана практически черные: альbedo равно 0,015. Они состоят из каменных частиц не крупнее нескольких метров в поперечнике (от 10см до 10м). Каждое кольцо движется практически как единое целое. Проблема устойчивости колец Урана остается пока неразрешенной. В 2003г с помощью телескопа Хаббл открыты еще два кольца и их стало 13. Кольца еще молодые, максимальная высота колец 4, 5, 6 над плоскостью экватора Урана достигает 24-46 км. Кольца тесно связаны с внутренними спутниками и быстро эволюционируют. В 2007г Земля пройдет через плоскость экватора Урана и его кольца будут видны с "ребра".

#### Магнитное поле

Магнитное поле планеты слабее, чем у Земли (5/6) и со смещенным центром на 55° относительно центра планеты. На уровне облаков напряженность магнитного поля равна 0,23 Гс. Но конфигурация этого магнитного поля очень сложная. Очень приблизительно его можно считать дипольным, если ось диполя сместить от центра на 1/3 радиуса и наклонить к оси вращения на 60°. Компас на Уране не будет показывать на географический полюс. Магнитное поле делает возможным «полярные» сияния, наблюдающиеся в верхней части атмосферы. Имеет радиационные пояса слабее земных.

Вероятно, магнитное поле вокруг планеты генерируется движениями в сравнительно поверхностных областях Урана, а не в его ядре. Источник поля - неизвестен; существование гипотетического электропроводящего океана воды или аммиака пока не подтверждено исследованиями. Как на Земле, так и на других планетах, источником магнитного поля считают течения в расплавленных породах, расположенных недалеко от ядра. Как у Земли, Юпитера и Сатурна, у Урана есть магнитный хвост, состоящий из захваченных полем заряженных частиц, растянувшийся на миллионы километров за Уран от Солнца. "Вояджер 2" "чувствовал" поле, по крайней мере, в 10-ти миллионах километров от планеты.

#### Спутники

Первые четырех спутника получили свои названия не от первооткрывателей. Имена им дал в XIX веке сын Уильяма Гершеля, Джон Гершель. В нарушение астрономической традиции, требующей брать названия для планет и спутников из мифологических сюжетов разных народов, спутники получили имена персонажей из произведений английских литераторов - Шекспира и Попа. Самый яркий среди спутников Урана - Ариэль получил имя доброго, светлого духа воздуха - персонажа, встречающегося и в пьесе Шекспира "Буря", и в поэме Попа "Похищение локона". Соседний с ним спутник - Умбриэль, вдвое темнее, был назван именем злого, темного духа из той же поэмы Попа. Два наиболее

крупных из спутников Урана - Титания и Оберон получили имена королевы фей и ее супруга, короля добрых духов из пьесы Шекспира "Сон в летнюю ночь".

На фото представлены: изображение Урана и его пяти наиболее крупных спутников, смонтированное из кадров, полученных с "Вояджера-2". На переднем плане виден Ариэль, перед Ураном находится Миранда, а Умбриэль, Оберон и Титания видны вдалеке.

## Н е п т у н

### История открытия

После того, как в 1781г Уильям Гершель открыл Уран и рассчитал параметры его

орбиты, довольно скоро в 1789г обнаружилось загадочные аномалии в движении этой планеты — оно то «отставало» от расчетного, то опережало его. Хотя эти отклонения от расчетной траектории первым заметил петербургский академик Андрей Лексель еще в 1783 году.

В 1842г в отчете Британской Ассоциации развития науки Джордж Эри, впоследствии ставший королевским астрономом, отмечал, что за 11 лет ошибка в положении Урана достигла почти полминуты дуги. В 1842г Геттингенская АН назначает премию тому, кто объяснит это загадочное явление. Вскоре после опубликования отчета Эри получил от британского астронома-любителя, преподобного доктора Хассея, письмо, в котором выдвигалось предположение, что эти аномалии обусловлены воздействием пока еще неоткрытой «заурановой» планеты. По-видимому, это было первым предложением искать «возмущающую» планету. Эри не одобрил идею Хассея, и поиски не были начаты.

А еще за год до этого талантливый молодой английский студент Джон Кауч Адамс отметил в своих записях: «В начале этой недели появилась мысль заняться сразу же после получения степени исследованием аномалий в движении Урана, которые до сих пор не объяснены. Надо найти, могут ли они быть обусловлены влиянием находящейся за ним неоткрытой планеты и, если возможно, определить хотя бы приблизительно элементы ее орбиты, что может привести к ее открытию».

Адамс получил возможность приступить к решению этой задачи только через два года, и к октябрю 1843г предварительные вычисления были закончены. Адамс решил показать их Эри, однако встретиться с королевским астрономом ему не удалось. Адамсу оставалось лишь вернуться в Кембридж, оставив для Эри результаты проведенных расчетов. По непонятным причинам Эри отреагировал на работу Адамса отрицательно, ценой чего явилась потеря Англией приоритета в открытии новой планеты. Адамс обратился к астроному - наблюдателю Джеймсу Чаллису, работавшему в том же Кембриджском университете, с просьбой организовать поиски. Чаллис после долгих проволочек приступил к поискам в июле 1846 года. Но ему невероятным образом не повезло. Самым обидным оказалось то, что Чаллис неоднократно наблюдал планету

записывал ее координаты, но все никак не удосуживался сравнить результаты наблюдений, проведенных в разные дни.

Независимо от Адамса над проблемой заурановой планеты работал во Франции Урбен Жан Леверье. Он работал в парижском Бюро долгот, которое возглавлял крупнейший французский астроном Франсуа Араго. Именно Араго и поставил перед молодым ученым задачу по определению возможного местоположения неизвестной планеты, которая своим гравитационным влиянием вызывает неправильности в движении Урана, считавшегося тогда самой крайней из планет. 10 ноября 1845г Леверье представил Французской АН результаты своего теоретического анализа движения Урана, заметив в заключение о расхождении между данными наблюдений и расчетов: «Это можно объяснить воздействием внешнего фактора, который я оценю во втором трактате». Такие оценки были проведены в первой половине 1846г. Успеху дела помогло предположение, что искомая планета движется, в соответствии с эмпирическим правилом Тициуса - Бодде, по орбите, радиус которой равен утроенному радиусу орбиты Урана, и что орбита имеет очень малый наклон к плоскости эклиптики. Леверье выступил с указанием, где следует искать новую планету.

Получив второй трактат Леверье, Эри обратил внимание на очень близкое совпадение результатов исследований Адамса и Леверье, относящихся к движению предполагаемой планеты, возмущающей движение Урана, и даже подчеркнул это на специальном заседании Совета инспекторов Гринвича. Но он, как и ранее, не торопился начать поиски и стал хлопотать о них только в июле 1846, поняв, какое негодование может вызвать впоследствии его пассивность.

Тем временем Леверье 31 августа 1846г закончил еще одно исследование, в котором была получена окончательная система элементов орбиты искомой планеты и указано ее место на небе и представил его в Парижскую АН. Но во Франции, как и в Англии, астрономы все не приступали к поискам, и 18 сентября Леверье обратился к Иоганну Гольфриду Галле, ассистенту Берлинской обсерватории. В письме он писал: «Направьте телескоп в созвездие Водолея в точку эклиптики с долготой  $326^\circ$ , и в пределах одного градуса Вы найдете новую планету. Она девятой звездной величины и имеет заметно различимый диск». Получив разрешение директора обсерватории, 23 сентября 1846г вместе со студентом Генрихом Д'Арре начал поиски. В первый же вечер планета ими была обнаружена, она находилась всего в  $52'$  от предполагаемого места.

Весть об открытии планеты «на кончике пера», что явилось одним из ярчайших триумфов небесной механики, вскоре облетела весь научный мир. По установившейся традиции планета получила название Нептун в честь античного бога.

Около года между Францией и Англией шла борьба за приоритет открытия, к которой, как это часто бывает, сами герои непосредственного отношения не имели. В частности, между Адамсом и Леверье установилось полное взаимопонимание, и они оставались друзьями до конца жизни.

Кстати планета наблюдалась еще Г. Галилеем в конце 1612г и начале 1613г, который зарисовал ее в своем журнале наблюдений, приняв за

звезду. 8 и 10 мая 1795г Ж. Лаланд также не обратил внимания.

Через 17 дней после открытия планеты, о котором британский астроном Уильям Ласселл узнал из газеты "Таймс", он тут же навел свой телескоп по указанным в газете координатам и стал наблюдать новую планету. Обнаружив движущийся вокруг нее спутник, Ласселл написал письмо в редакцию «Таймс», и газета оповестила мир о находке английского астронома. Открытие спутника Тритона стало определенным утешением для Англии за утерянный приоритет в открытии самого Нептуна.

### Строение планеты

Внешняя газовая оболочка (атмосфера) имеет толщиной около 5 000 км. Эта атмосфера, состоящая из водорода и гелия, переходит в ледяной слой постепенно, без резко выраженной границы, по мере того, как плотность вещества увеличивается под давлением вышележащих слоев. В глубоких частях атмосферы газы преобразуются в кристаллы, своего рода иней. Этих кристаллов в более глубоких слоях становится все больше, и они начинают напоминать пропитанную водой снеговую кашу, а еще глубже - полностью преобразуются в лед, находящийся под действием огромного давления. Переходный слой от газовой до ледяной оболочки довольно широкий - около 3 000 км. В общей массе Нептуна на газы приходится 5%, на льды 75%, а на каменный материал 20%.

По расчетам, в центре Нептуна должно находиться каменное или железоканное ядро диаметром в 1,5-2 раза больше нашей Земли. Основную часть Нептуна составляет расположенный вокруг этого плотного ядра слой толщиной около 8 000 км, состоящий главным образом из водных, аммиачных и метановых льдов, к которым, возможно, примешан и каменный материал. По расчетам, температура в этом слое должна с глубиной увеличиваться от +2 500 до +5 500°С. Однако лед при этом не испаряется, поскольку он находится в недрах Нептуна, где давление в несколько миллионов раз выше, чем атмосферное давление на Земле. Такие чудовищные «объятия» прижимают молекулы друг к другу, удерживая их от разлета в стороны и испарения. Вероятно, вещество там находится в ионном состоянии, когда атомы и молекулы «раздавлены» на отдельные заряженные частицы - ионы и электроны. Конечно, трудно вообразить себе подобный «лед», поэтому иногда этот слой Нептуна называют «ионным океаном», хотя представить его в виде обычной жидкости также весьма затруднительно.

Нептун – самая ветряная планета Солнечной системы. Из всех элементов на Нептуне преобладают водород и гелий. Атмосфера планеты состоит из молекулярного водорода ( $H_2$ ) - 80,0%; Гелия (He) - 19,0%; Метана ( $CH_4$ ) - 1,5%. Внешняя газовая оболочка имеет толщину около 5 000 км. На Нептуне, как и на других планетах-гигантах, произошла многослойная дифференциация вещества, в процессе которой образовалась протяженная ледяная оболочка как на Уране. Крупномасштабные атмосферные образования в экваториальной области планеты движутся с востока на запад со скоростью около 325 м/сек. относительно ядра планеты, а более мелкие детали перемещаются почти вдвое быстрее. Это означает, что скорости потоков выбросов у экватора Нептуна приближаются к сверхзвуковым. Скорость звука в атмосфере Нептуна составляет примерно 600 м/сек. Сильные ветры наблюдаются на всех гигантских планетах, но не ясно, почему самое быстрое движение атмосферы

имеется именно на Нептуне. Возможно, это связано с влиянием внутренних источников тепла у Нептуна. Выше основного атмосферного слоя, в холодной прозрачной атмосфере конденсируются редкие белые облака из замерзшего метана ( $\text{CH}_4$ ). Эти белые облака поднимаются на высоту 50-150 км и отбрасывают тени на основной облачный покров. Ниже первого слоя облаков, на уровне давления около 20 атмосфер и температуры около 200К (-70С), расположен второй облачный слой из гидросульфида аммония  $\text{NH}_4 \text{SH}$ . Еще глубже расположены облака из водяного льда.

Температурный минимум (тропопауза) в атмосфере Нептуна составляет 50К (-223С) и достигается при давлении 0,1 атмосферы. При такой низкой температуре конденсируются пары продуктов фотолиза метана (ацетилен, диацетилен и др.), образуя тонкую надоблачную дымку. Выше тропопаузы лежит стратосфера - область атмосферы, где температура растет с высотой. На уровне давления  $10^{-8}$  -  $10^{-7}$  атмосфер при температуре 160К (-110С) расположена мезопауза - область постоянной температуры, выше которой простирается термосфера. Температура термосферы достигает 750К.

На изображениях, полученных АМС "Вояджер-2" в 1989г наблюдалось на планете овальное Большое Темное Пятно (13 тысяч км в длину и 6.6 тысяч км в ширину). Это была грозная система (вихрь) в облачных слоях Нептуна, подобная Большому красному пятну на Юпитере, но она просуществовала не так долго. Ветры несли Большое Темное Пятно к западу со скоростью 300 метров в секунду. Время кругооборота вещества в нем – 16 дней. "Вояджер 2" также видел меньшее темное пятно в южном полушарии и небольшое непостоянное белое облако, которое проносилось вокруг Нептуна за 16 часов и сопровождало вихрь, названным "Скутер". Проведенное недавно компьютерное моделирование показало, что "скутеры" - это облака метана, которые часто могут находиться около темных пятен.

Любопытно, что наблюдения на HST в 1994-м году показали, что Большое Темное Пятно исчезло. Оно или просто рассеялось или, к настоящему времени, закрыто другими частями атмосферы. Несколько месяцев спустя, HST обнаружил новое темное пятно в северном полушарии Нептуна. Наибольший размер пятна почти равнялся диаметру Земли (около 12000 км), достигая почти половины размера Большого красного пятна. Это указывает на то, что атмосфера Нептуна изменяется быстро, возможно, из-за легких изменений в температурах верхних и нижних облаков.

Наблюдения за Нептуном, которые в течение шести лет проводились с помощью космического телескопа Hubble, показали, что эта планета стала за эти годы заметно ярче. Причем самые заметные изменения произошли в южном полушарии: полосы облаков стали выделяться очень четко, они стали и шире и ярче. По мнению ученых, это говорит о том, что на Нептуне происходят сезонные изменения климата, подобные тем, что мы наблюдаем у себя на Земле. Когда в сторону Солнца обращено южное полушарие Нептуна, то над районом южного полюса 41 год длится полярный день, и в южном полушарии все это время - лето. Оно началось там в 2005 году и продлится до 2046 года. В этот период вокруг северного полюса Нептуна будет царить полярная ночь.

Правда, астрономы не ожидали обнаружить на Нептуне сезонные изменения, потому что Солнце на этой планете по причине своей удаленности выглядит в 900 раз менее ярким, чем на Земле. Тем не менее, изменения освещенности даже от такого "слабого" источника света приводят к определенным изменениям в атмосфере Нептуна и, следовательно, к изменениям климата. Но на этот процесс оказывает еще влияние и внутренний источник тепла Нептуна. А вообще-то, эта планета очень слабо изучена из-за своей сильной удаленности.

#### Кольца

Название	Расстояние от центра планеты в радиусах (км) планеты		Ширина (км)	Толщина (км)	Оптическая глубина	Общая масса (г)	Альbedo
Галле	1,692-1,733	41900-43900	~2,000	?	$\sim 8 \times 10^{-5}$	?	~0.015
Леверье	2,148	53200	~110	?	~0.002	?	~0.015
Ласселл	2,148-2,310	53200-57200	~4,000	?	$1.5 \times 10^{-4}$	?	~0.015
Арго	2,310	57200	<~100	?	?	?	?
Безымянное	2,501	61950	?	?	?	?	?
Адамс	2,541	62933	~50	?	$\sim 4.5 \times 10^{-3}$	?	~0.015

Кольца открыты в 1984г во время покрытия звездой.

Нептун имеет два основных кольца (Леверье и Адамса), причем от внутреннего кольца вовне простирается разреженный слой вещества (Плато). Ближе к планете расположено тонкое третье кольцо (Галле). Слабое направленное наружу расширение кольца Леверье, которому присвоено имя Ласселла, ограничено с внешней стороны кольцом Араго. Внешнее кольцо - кольцо Адамса - содержит три ярких дуги протяженностью около  $8^\circ$ , в которых, кажется, преобладают частицы пыли. Эти дуги получили названия Свобода, Равенство и Братство. Не исключено, что размеры этих дуг ограничены гравитационным влиянием спутника Галатей с орбитой внутри кольца Адамса. «Вояджер-2» сфотографировал это уникальное образование. Внутри арок видна цепь отдельных сгустков на расстоянии нескольких сот километров друг от друга. Исследование арок показывает, что в середине они содержат уплотнение шириной 15 км, окруженное прозрачным пылевым шлейфом шириной 50 км. Сложные расчеты позволили сделать вывод о том, что арки Нептуна представляют собой цепочки ранее неизвестных науке эллиптических вихрей антициклонического типа, состоящих из твердых частиц. Размеры самых крупных частиц, видимо, достигают нескольких сот метров. Эти уникальные вихри названы эпитонами; они сложным образом взаимодействуют с ближайшим спутником (Галатеей), между собой и с непрерывным пылевым кольцом. Кольца темные, альbedo всех колец очень низкое (меньше 3%). Кольца не

отражают радиоволны и выглядят значительно ярче в рассеянном, нежели в отраженном свете, а значит, состоят преимущественно из мелких пылевых частиц.

### Магнитное поле

Магнитное поле Нептуна, как и поле Урана, странно ориентированно и, вероятно, создается движениями проводящего вещества (вероятно, воды), расположенной в средних слоях планеты, выше ядра. Магнитная ось наклонена на 47 градусов к оси вращения, что на Земле бы могло отразиться в интересном поведении магнитной стрелки, ведь по ее мнению, "Северный полюс" мог бы находиться южнее Москвы... Кроме того, ось симметрии магнитного поля Нептуна не проходит через центр планеты, а отстоит от него более чем на полрадиуса, что очень похоже на обстоятельства существования магнитного поля вокруг Урана. Соответственно, и напряжение поля непостоянно на поверхности в разных ее местах и меняется от трети земного до утроенного. В какой-либо одной точке поверхности поле также непостоянно, как и положение, и интенсивность источника в недрах планеты. По случайности, при подлете к Нептуну, "Вояджер" двигался почти точно в направлении южного магнитного полюса планеты, что дало возможность ученым провести ряд уникальных исследований, многие результаты которых до сих пор не лишены таинственности и непонятности. Были сделаны предположения о строении Нептуна. Были обнаружены явления в атмосфере, схожие с земными полярными сияниями. Исследуя магнитные явления, "Вояджеру" удалось точно установить период вращения Нептуна вокруг своей оси - 16 часов 7 минут.

### Спутники.

«Вояджер-2» открыл шесть новых спутников. Все они движутся по практически круговым орбитам в прямом направлении практически в плоскости экватора планеты. Пять из них имеют периоды обращения меньше периода вращения планеты, и поэтому на нептунианском небе восходят на западе и заходят на востоке. Самый крупный из этих спутников - Протей - неправильной формы. Он намного темнее Нереиды, и отражает всего 6% падающего света. Протей имеет серый цвет; на его поверхности видны кратероподобные образования и трещины. Ещё один спутник, Ларисса, тёмный объект неправильной формы, отражающий 5% света. На нем видны несколько кратеров размерами 30-50 км. Неправильная форма Протея и Лариссы указывает на то, что на протяжении всей своей истории они оставались холодными глыбами льда.

НЕРЕИДА, второй спутник планеты открытый в 1949 году американско-голландским астрономом Джерард Койпер (Gerard Kuiper) - Единственный спутник планет Солнечной системы с сильно вытянутой орбитой (эксцентриситет 0,75). Его расстояние от Нептуна изменяется от 1 353 600 км до 9 623 700 км. Спутник, по-видимому, был захвачен планетой. Ее альbedo выше, чем альbedo внутренних спутников, но значительно меньше альbedo Тритона.

Спутник	Радиус (км)		Масса (кг)	Радиус орбиты (тыс. км)	Период обращения (зем. сут.)	Альbedo	Дата открытия, первооткрыватель
S/2003N1	14	46738	9136,1R	0,16	2001г, на телескопе Subaru (Гавайи), объявлено 17.09.2003г		
S/2002N4	30		46570	8863,1R	0,04	обнаружены с помощью телескопов Сегго Tololo (межамериканская обсерватория) и Victor Blanco (Канада, Франция, США).	
S/2002N3	24		$1.0 \times 10^{17}$	22571	2982,3		0,16
S/2002N2	24		$1.0 \times 10^{17}$	22452	2918,9		0,16
S/2002N1	24		$1.0 \times 10^{17}$	15686	1874,8		0,16
Наяда	48x30x26		$2.0 \times 10^{17}$	48,227	0,294396	0,07	(NIII - 1989) 08.1989, «Вояджер-2»
Таласса	54x50x26		$4.0 \times 10^{17}$	50,075	0,311485	0,09	(NIV - 1989) 08.1989, «Вояджер-2»
Деспина	90x74x64		$2.0 \times 10^{18}$	52,526	0,334655	0,09	(NV - 1989) 08.1989, «Вояджер-2»
Галатейя	102x92x72		$4.0 \times 10^{18}$	61,953	0,428745	0,08	(NVI - 1989) 08.1989, «Вояджер-2»
Ларисса	108x102x84		$5.0 \times 10^{18}$	73,548	0,554654	0,09	(NVII - 1989) 08.1989, «Вояджер-2» или H.Reitsema во время покрытия в 1981г
Протей (Протеус)	220x208x202		$5.0 \times 10^{19}$	117,647	1,122315	0,1	(NVIII - 1989) 08.1989, «Вояджер-2»
Нереида	170		$3.0 \times 10^{19}$	5513,4	360,13619	0,16	(NII - 1949) 1.05.1949, Дж. Койпер
Тритон	1353,4		$2.14 \times 10^{22}$	354,76	5,876854R	0,76	(NI - 1846) 10.10.1846, У. Ласселл

Список использованной литературы:

1. Интернет ресурс [www.astro.websib.ru](http://www.astro.websib.ru)
2. Интернет ресурс [www.galspace.spb.ru](http://www.galspace.spb.ru)
3. Интернет ресурс [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org)