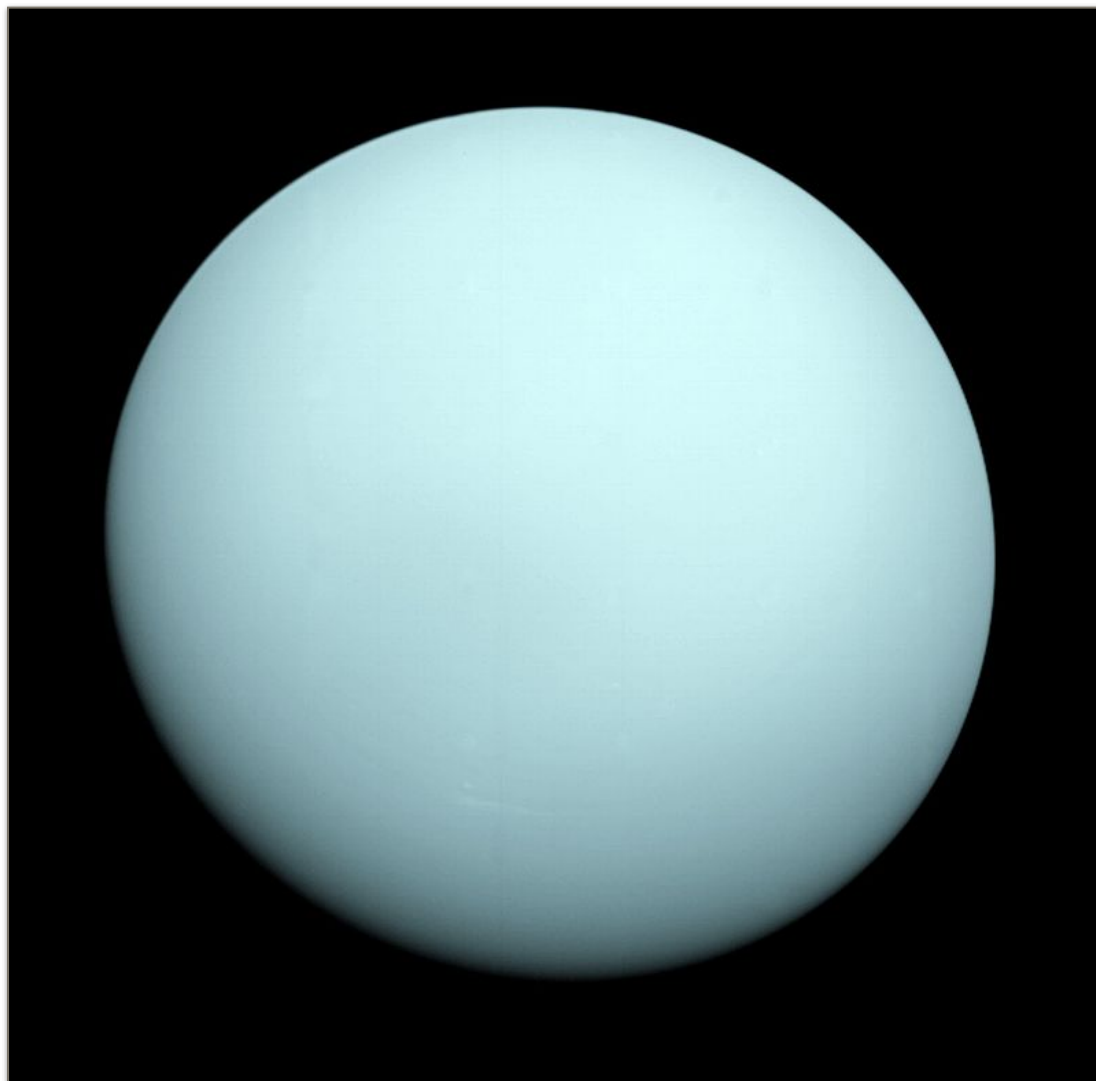


# Уран



Общие сведения	1
Открытие Урана	2
Атмосфера	4
Структура	6

# Общие сведения

Ура́н — планета Солнечной системы, седьмая по удалённости от Солнца, третья по диаметру и четвёртая по массе. Была открыта в 1781 году английским астрономом Уильямом Гершелем и названа в честь греческого бога неба Урана.

Уран стал первой планетой, обнаруженной в Новое время и при помощи телескопа. Его открыл Уильям Гершель 13 марта 1781 года, тем самым впервые со времён античности расширив границы Солнечной системы в глазах человека. Несмотря на то, что порой Уран различим невооружённым глазом, более ранние наблюдатели принимали его за тусклую звезду.

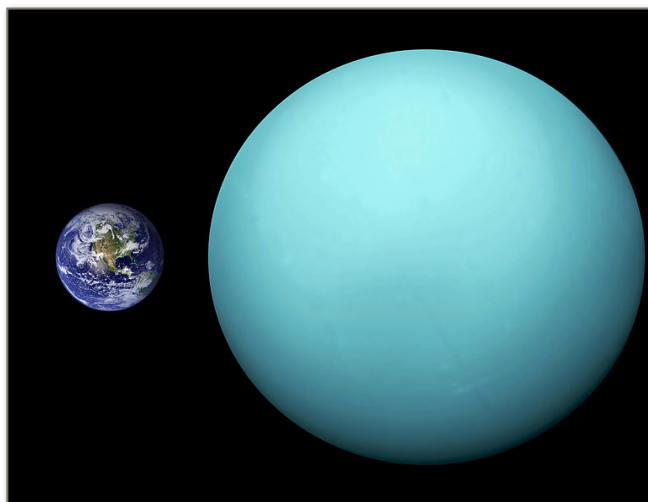


рис.1 Сравнение размеров Урана и Земли

В отличие от газовых гигантов — Сатурна и Юпитера, состоящих в основном из водорода и гелия, в недрах Урана и схожего с ним Нептуна отсутствует металлический водород, но зато много льда в его высокотемпературных модификациях. По этой причине специалисты выделили эти две планеты в отдельную категорию «ледяных гигантов». Основу атмосферы Урана составляют водород и гелий. Кроме того, в ней обнаружены следы метана и других углеводородов, а также облака из льда, твёрдого аммиака и водорода. Это самая холодная планетарная атмосфера Солнечной системы с минимальной температурой в 49 К (–224 °С). Полагают, что Уран имеет сложное слоистое строение облаков, где вода составляет нижний слой, а метан — верхний. Недра Урана состоят в основном из льдов и горных пород.

Так же, как у газовых гигантов Солнечной системы, у Урана имеется система колец и магнитосфера, а кроме того, 27 спутников. Ориентация Урана в пространстве отличается от остальных планет Солнечной системы — его ось вращения лежит как бы «на боку» относительно плоскости обращения этой планеты вокруг Солнца. Вследствие этого планета бывает обращена к Солнцу попеременно то северным полюсом, то южным, то экватором, то средними широтами.

В 1986 году американский космический аппарат «Вояджер-2» передал на Землю снимки Урана с близкого расстояния. На них видна «невыразительная» в видимом спектре планета без облачных полос и атмосферных штормов, характерных для других планет-гигантов. Однако в настоящее время наземными наблюдениями удалось различить признаки сезонных изменений и увеличения погодной активности на планете, вызванных приближением Урана к точке своего равноденствия. Скорость ветров на Уране может достигать 250 м/с (900 км/ч).

# Открытие Урана

Люди наблюдали Уран ещё до Уильяма Гершеля, но обычно принимали его за звезду. Наиболее ранним задокументированным свидетельством этого факта следует считать записи английского астронома Джона Флемстида, который наблюдал его в 1690 году, по крайней мере, 6 раз, и зарегистрировал как звезду 34 в созвездии Тельца. С 1750 года по 1769 год французский астроном Пьер Шарль ле Моньер наблюдал Уран 12 раз. Всего Уран до 1781 года наблюдался 21 раз.

Во время открытия Гершель участвовал в наблюдениях параллакса звёзд, используя телескоп своей собственной конструкции, и 13 марта 1781 года впервые увидел эту планету из сада своего дома № 19 на Нью Кинг стрит (город Бат, графство Сомерсет в Великобритании), сделав следующую запись в своём журнале:

*«В квартиле рядом с  $\zeta$  Тельца... Или туманная звезда, или, возможно, комета.»*

22 марта его письмо к сэру Уильяму Уотсону было впервые прочитано в Королевском обществе. Затем последовало ещё три письма (29 марта, 5 апреля и 26 апреля), в которых он, продолжая упоминать о том, что обнаружил комету, сравнивал вновь открытый объект с планетами:

*«В первый раз я наблюдал эту комету с увеличением в 227 раз. Мой опыт показывает, что диаметр звёзд, в отличие от планет, не изменяется пропорционально при использовании линз с большей силой увеличения; поэтому я использовал линзы с увеличением 460 и 932 и обнаружил, что размер кометы увеличивался пропорционально изменению силы оптического увеличения, давая повод предположить, что это не звезда, так как размеры взятых для сравнения звёзд не изменялись. Более того, при большем увеличении, чем позволяла её яркость, комета становилась размытой, плохо различимой, тогда как звёзды оставались яркими и чёткими — как я и знал на основании проведённых мной тысяч наблюдений. Повторное наблюдение подтвердило мои предположения: это действительно была комета.»*

В то время как Гершель ещё продолжал осторожно описывать объект как комету, другие астрономы заподозрили, что это какой-то другой объект. Российский астроном Андрей Иванович Лексель установил, что расстояние от Земли до объекта превышает расстояние от Земли до Солнца (астрономическую единицу) в 18 раз и отметил, что нет ни одной кометы с перигелийным расстоянием более 4 астрономических единиц (в настоящее время такие объекты известны). Берлинский астроном Иоганн Боде описал объект, открытый Гершелем, как «движущуюся звезду, которую можно считать подобной планете, обращающуюся по кругу вне орбиты Сатурна», и сделал вывод, что эта орбита более похожа на планетарную, нежели чем на кометную. Вскоре стало очевидным, что объект

действительно является планетой. В 1783 году Гершель сам сообщил о признании этого факта президенту Королевского общества Джозефу Банксу:

*«Наблюдения самых выдающихся астрономов Европы доказали, что комета, которую я имел честь указать им в марте 1781 года, является планетой нашей Солнечной системы.»*

За свои заслуги Гершель был награждён королём Георгом III пожизненной стипендией в 200 фунтов стерлингов, при условии, что он переедет в Виндзор, дабы у королевской семьи была возможность посмотреть в его телескопы.

# Атмосфера

Хотя Уран и не имеет твёрдой поверхности в привычном понимании этого слова, наиболее удалённую часть газообразной оболочки принято называть его атмосферой. Полагается, что атмосфера Урана начинается на расстоянии в 300 км от внешнего слоя при давлении в 100 бар и температуре в 320 К. «Атмосферная корона» простирается на расстояние, в 2 раза превышающее радиус от «поверхности» с давлением в 1 бар. Атмосферу условно можно разделить на 3 части: тропосфера (-300 км — 50 км; давление составляет 100 — 0,1 бар), стратосфера (50 — 4000 км; давление составляет 0,1 — 10–10 бар) и термосфера/атмосферная корона (4000 — 50000 км от поверхности). Мезосфера у Урана отсутствует.

Состав атмосферы Урана заметно отличается от состава остальных частей планеты благодаря высокому содержанию гелия и молекулярного водорода. Мольная доля гелия (то есть отношение количества атомов гелия к количеству всех атомов и молекул) в верхней тропосфере равна  $0,15 \pm 0,03$  и соответствует массовой доле  $0,26 \pm 0,05$ . Это значение очень близко к протозвёздной массовой доле гелия ( $0,275 \pm 0,01$ ). Гелий не локализован в центре планеты, что характерно для других газовых гигантов. Третья составляющая атмосферы Урана — метан ( $\text{CH}_4$ ). Метан обладает хорошо видимыми полосами поглощения в видимом и ближнем инфракрасном спектре. Он составляет 2,3 % по числу молекул (на уровне давления в 1,3 бара). Это соотношение значительно снижается с высотой из-за того, что чрезвычайно низкая температура заставляет метан «вымерзнуть». Присутствие метана, поглощающего свет красной части спектра, придаёт планете её зелёно-голубой цвет. Распространённость менее летучих соединений, таких как аммиак, вода и сероводород, в глубине атмосферы известна плохо. Кроме того, в верхних слоях Урана обнаружены следы этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), метилацетилена ( $\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$ ) и диацетилена ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ). Эти углеводороды, как предполагают, являются продуктом фотолиза метана солнечной ультрафиолетовой радиацией.

Спектроскопия также обнаружила следы водяного пара, угарного и углекислого газов. Вероятно, они попадают на Уран из внешних источников (например, из пролетающих мимо комет)

рис.3 Гексагональное атмосферное образование на северном полюсе Сатурна

Снимки, сделанные «Вояджером-2» в 1986 году, показали, что видимое южное полушарие Урана можно поделить на две области: яркий «полярный капюшон» и менее яркие экваториальные зоны. Эти зоны граничат на широте  $-45^\circ$ . Узкая полоса в промежутке между  $-45^\circ$  и  $-50^\circ$ , именуемая южным «кольцом», является самой заметной особенностью полушария и видимой поверхности вообще. «Капюшон» и кольцо, как полагают, расположены в интервале давления от 1,3 до 2 бар и являются плотными облаками метана.

К сожалению, «Вояджер-2» приблизился к Урану во время «Южного полярного лета» и не смог зафиксировать северный полярный круг. Однако в начале XXI столетия, когда северное полушарие Урана удалось рассмотреть через космический телескоп «Хаббл» и телескопы обсерватории Кека, никакого «капюшона» или «кольца» в этой части планеты обнаружено не было. Таким

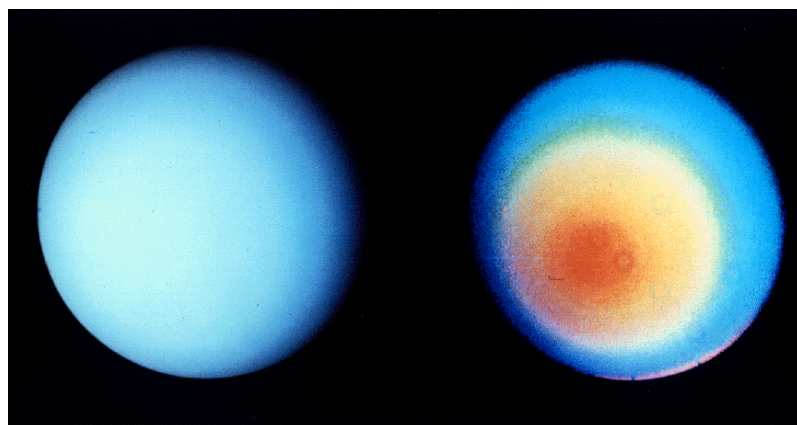


рис.2 Изображение в естественных цветах (слева) и на более коротких волнах (справа), позволяющие различить облачные полосы и атмосферный «капюшон» (снимок «Вояджера-2»)

образом, была отмечена очередная асимметрия в строении Урана, особенно яркого близ южного полюса и равномерно тёмного в областях к северу от «южного кольца».

В течение короткого периода с марта по май 2004 года в атмосфере Урана было замечено более активное появление облаков, почти как на Нептуне. Наблюдения зарегистрировали скорость ветра до 229 м/с (824 км/ч) и постоянную грозу, названную «фейерверком четвёртого июля». 23 августа 2006 года Институт исследования космического пространства (Боулдер, штат Колорадо, США) и Университет Висконсина наблюдали тёмное пятно на поверхности Урана, что позволило расширить знания о смене времён года на этой планете. Почему происходит такое повышение активности, точно неизвестно — возможно, «экстремальный» наклон оси Урана приводит к «экстремальным» же сменам сезонов

# Структура

Уран тяжелее Земли в 14,5 раз, что делает его наименее массивной из планет-гигантов Солнечной системы. Плотность Урана, равная  $1,270 \text{ г/см}^3$ , ставит его на второе после Сатурна место среди наименее плотных планет Солнечной системы. Несмотря на то, что радиус Урана немного больше радиуса Нептуна, его масса несколько меньше, что свидетельствует в пользу гипотезы, согласно которой он состоит в основном из различных льдов — водного, аммиачного и метанового. Их масса, по разным оценкам, составляет от 9,3 до 13,5 земных масс. Водород и гелий составляют лишь малую часть от общей массы (между 0,5 и 1,5 земных масс); оставшаяся доля (0,5 — 3,7 земных масс) приходится на горные породы (которые, как полагают, составляют ядро планеты).

Стандартная модель Урана предполагает, что Уран состоит из трёх частей: в центре — каменное ядро, в середине — ледяная оболочка, снаружи — водородно-гелиевая атмосфера. Ядро является относительно маленьким, с массой приблизительно от 0,55 до 3,7 земных масс и с радиусом в 20 % от радиуса всей планеты. Мантия (льды) составляет большую часть планеты (60 % от общего радиуса, до 13,5 земных масс). Атмосфера при массе, составляющей всего 0,5 земных масс (или, по другим оценкам, 1,5 земной массы), простирается на 20 % радиуса Урана. В центре Урана плотность должна повышаться до  $9 \text{ г/см}^3$ , давление должно достигать 8 млн бар (800 ГПа) при температуре в 5000 К. Ледяная оболочка фактически не является ледяной в общепринятом смысле этого слова, так как состоит из горячей и плотной жидкости, являющейся смесью воды, аммиака и метана. Эту жидкость, обладающую высокой электропроводностью, иногда называют «океаном водного аммиака». Состав Урана и Нептуна сильно отличается от состава Юпитера и Сатурна благодаря «льдам», преобладающим над газами, оправдывая помещение Урана и Нептуна в категорию ледяных гигантов.

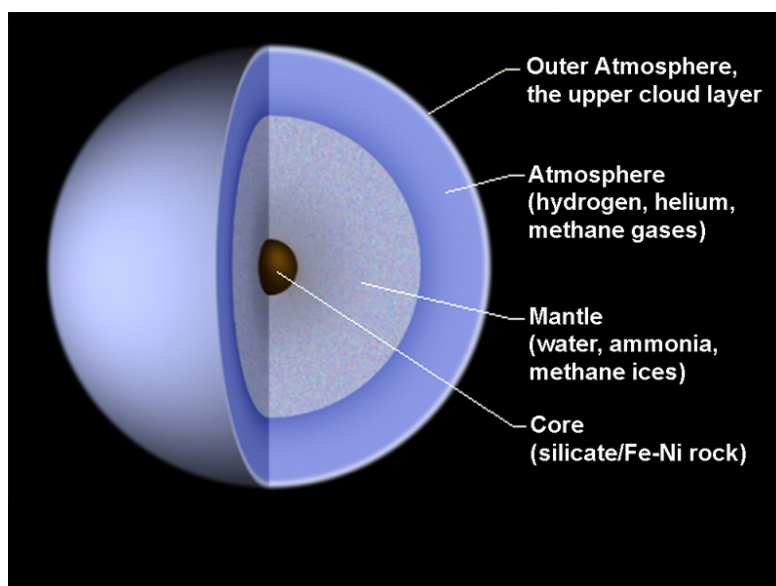


рис.4 Структура Урана

Внутреннее тепло Урана значительно меньше, чем у других планет-гигантов Солнечной системы. Тепловой поток планеты очень низкий, и причина этого сейчас неизвестна. Нептун, схожий с Ураном размерами и составом, излучает в космос в 2,61 раза больше тепловой энергии, чем получает от Солнца. У Урана же избыток теплового излучения очень мал, если вообще есть. Тепловой поток от Урана равен  $0,042 - 0,047 \text{ Вт/м}^2$ , и эта величина меньше, чем у Земли ( $\sim 0,075 \text{ Вт/м}^2$ ). Измерения в дальней инфракрасной части спектра показали, что Уран излучает лишь  $1,06 \pm 0,08 \%$  энергии от той, что получает от Солнца. Самая низкая температура, зарегистрированная в тропопause Урана, составляет 49 К ( $-224^\circ\text{C}$ ), что делает планету самой холодной из всех планет Солнечной системы — даже более холодной, чем Нептун.

Существуют две гипотезы, пытающиеся объяснить этот феномен. Первая из них утверждает, что предположительное столкновение протопланеты с Ураном во время формирования Солнечной системы, которое вызвало большой наклон его оси вращения, привело к рассеянию исходно имевшегося тепла. Вторая гипотеза гласит, что в верхних слоях Урана есть некая прослойка, препятствующая тому, чтобы тепло от ядра достигало



верхних слоёв. Например, если соседние слои имеют различный состав, конвективный перенос тепла от ядра вверх может быть затруднён.

Отсутствие избыточного теплового излучения планеты значительно затрудняет определение температуры её недр, однако если предположить, что температурные условия внутри Урана близки к характерным для других планет-гигантов, то там возможно существование жидкой воды и, следовательно, Уран может входить в число планет Солнечной системы, где возможно существование жизни.