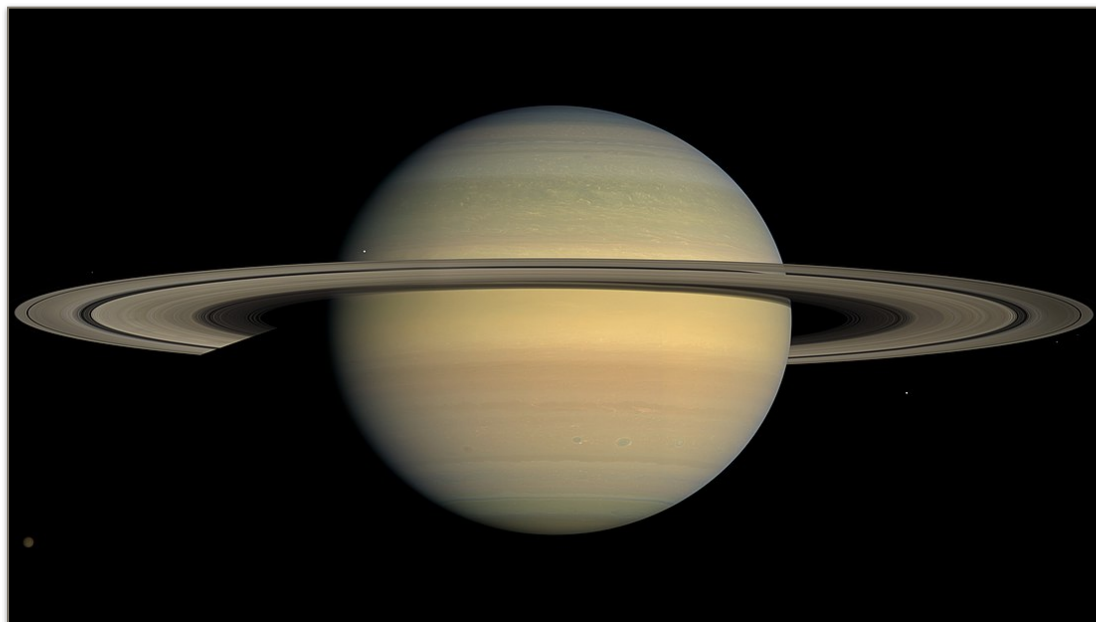


# Сатурн



Общие сведения	1
Атмосфера	3
Структура	5

# Общие сведения

Сатурн — шестая планета от Солнца и вторая по размерам планета в Солнечной системе после Юпитера. Сатурн, а также Юпитер, Уран и Нептун, классифицируются как газовые гиганты. Сатурн назван в честь римского бога земледелия. Символ Сатурна — серп (Юникод: ♄).

В основном Сатурн состоит из водорода, с примесями гелия и следами воды, метана, аммиака и тяжёлых элементов. Внутренняя область представляет собой относительно небольшое ядро из железа, никеля и льда, покрытое тонким слоем металлического водорода и газообразным внешним слоем. Внешняя атмосфера планеты кажется из космоса спокойной и однородной, хотя иногда на ней появляются долговременные образования. Скорость ветра на Сатурне может достигать местами 1800 км/ч, что значительно больше, чем на Юпитере. У Сатурна имеется планетарное магнитное поле, занимающее промежуточное положение по напряжённости между магнитным полем Земли и мощным полем Юпитера. Магнитное поле Сатурна простирается на 1 000 000 километров в направлении Солнца. Ударная волна была зафиксирована «Вояджером-1» на расстоянии в 26,2 радиуса Сатурна от самой планеты, магнитопауза расположена на расстоянии в 22,9 радиуса.

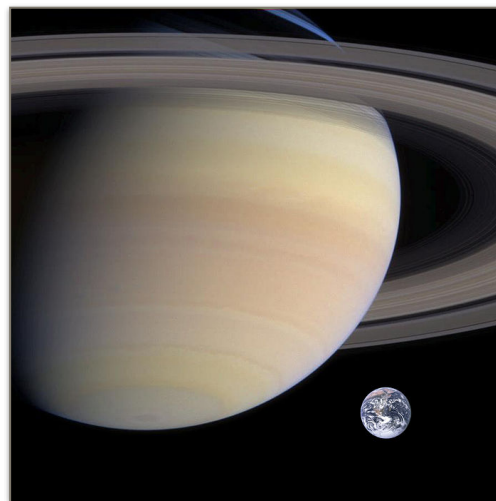


рис.1 Сравнение размеров Сатурна и Земли

Сатурн обладает заметной системой колец, состоящей главным образом из частичек льда, меньшего количества тяжёлых элементов и пыли. Вокруг планеты обращается 62 известных на данный момент спутника. Титан — самый крупный из них, а также второй по размерам спутник в Солнечной системе (после спутника Юпитера, Ганимеда), который превосходит по своим размерам Меркурий и обладает единственной среди спутников планет Солнечной системы плотной атмосферой.

На орбите Сатурна находилась автоматическая межпланетная станция (АМС) «Кассини», запущенная в 1997 году и достигшая системы Сатурна в 2004 году. В задачи АМС входило изучение структуры колец, а также динамики атмосферы и магнитосферы планеты. 15 сентября 2017 года станция завершила свою миссию.

Сатурн относится к типу газовых планет: он состоит в основном из газов и не имеет твёрдой поверхности. Экваториальный радиус планеты равен 60 300 км, полярный радиус — 54 400 км; из всех планет Солнечной системы Сатурн обладает наибольшим сжатием. Масса планеты в 95,2 раза превышает массу Земли, однако средняя плотность Сатурна составляет всего 0,687 г/см<sup>3</sup>, что делает его единственной планетой Солнечной системы, чья средняя плотность меньше плотности воды. Поэтому, хотя массы Юпитера и Сатурна различаются более чем в 3 раза, их экваториальный диаметр различается только на 19 %. Плотность остальных газовых гигантов значительно больше (1,27 — 1,64 г/см<sup>3</sup>). Ускорение свободного падения на экваторе составляет 10,44 м/с<sup>2</sup>, что сопоставимо со значениями Земли и Нептуна, но намного меньше, чем у Юпитера.

Происхождение Сатурна (равно как и Юпитера) объясняют две основные гипотезы. Согласно гипотезе «контракции», схожесть состава Сатурна с Солнцем в том, что у обоих небесных тел имеется большая доля водорода, и, как следствие, малую плотность можно объяснить тем, что в процессе формирования планет на ранних стадиях развития Солнечной системы в газопылевом диске образовались массивные «сгущения», давшие начало планетам, то есть Солнце и планеты формировались схожим образом. Тем не менее, эта гипотеза не может объяснить различия состава Сатурна и Солнца.

Гипотеза «аккреции» гласит, что процесс образования Сатурна происходил в два этапа. Сначала в течение 200 миллионов лет шёл процесс формирования твёрдых плотных тел, наподобие планет земной группы. Во время этого этапа из области Юпитера и Сатурна диссипировала часть газа, что затем повлияло на различие в химическом составе Сатурна и Солнца. Затем начался второй этап, когда самые крупные тела достигли удвоенной массы Земли. На протяжении нескольких сотен тысяч лет длился процесс аккреции газа на эти тела из первичного протопланетного облака. На втором этапе температура наружных слоёв Сатурна достигала 2000 °C

В 1921 году разнесся слух о том, что Сатурн лишился своих колец, а их частицы летят в том числе и на Землю. Ожидаемое событие настолько взбудоражило умы людей, что публиковались расчёты, когда на Землю упадут частицы колец. Слух появился из-за того, что кольца попросту повернулись ребром к земным наблюдателям, а так как они очень тонкие, то в приборы того времени их было невозможно разглядеть. Люди поняли «исчезновение колец» в прямом смысле, что и породило слух.

# Атмосфера

Верхние слои атмосферы Сатурна состоят на 96,3 % из водорода (по объёму) и на 3,25 % — из гелия (по сравнению с 10 % в атмосфере Юпитера). Имеются примеси метана, аммиака, фосфина, этана и некоторых других газов. Аммиачные облака в верхней части атмосферы мощнее юпитерианских. Облака нижней части атмосферы состоят из гидросульфида аммония ( $\text{NH}_4\text{SH}$ ) или воды.

По данным «Вояджеров», на Сатурне дуют сильные ветра, до 500 м/с. Ветра дуют в основном в восточном направлении (по направлению осевого вращения). Их сила ослабевает при удалении от экватора; при удалении от экватора появляются также и западные атмосферные течения. Ряд данных указывают, что циркуляция атмосферы происходит не только в слое верхних облаков, но и на глубине, по крайней мере, до 2 тыс. км. Кроме того, измерения «Вояджера-2» показали, что ветры в южном и северном полушариях симметричны относительно экватора. Есть предположение, что симметричные потоки как-то связаны под слоем видимой атмосферы.

В атмосфере Сатурна иногда появляются устойчивые образования, представляющие собой сверхмощные ураганы. Аналогичные объекты наблюдаются и на других газовых планетах Солнечной системы (см. Большое красное пятно на Юпитере, Большое тёмное пятно на Нептуне). Гигантский «Большой белый овал» появляется на Сатурне примерно один раз в 30 лет, в последний раз он наблюдался в 2010 году (менее крупные ураганы образуются чаще).

12 ноября 2008 года камеры станции «Кассини» получили изображения северного полюса Сатурна в инфракрасном диапазоне. На них исследователи обнаружили полярные сияния, подобные которым не наблюдались ещё ни разу в Солнечной системе. Также данные сияния наблюдались в ультрафиолетовом и видимом диапазонах. Полярные сияния представляют собой яркие непрерывные кольца овальной формы, окружающие полюс планеты. Кольца располагаются на широте, как правило, в  $70\text{--}80^\circ$ . Южные кольца располагаются на широте в среднем  $75 \pm 1^\circ$ , а северные — ближе к полюсу примерно на  $1,5^\circ$ , что связано с тем, что в северном полушарии магнитное поле несколько сильнее. Иногда кольца становятся спиральной формы вместо овальной.

В отличие от Юпитера полярные сияния Сатурна не связаны с неравномерностью вращения плазменного слоя во внешних частях магнитосферы планеты. Предположительно, они возникают из-за магнитного пересоединения под действием солнечного ветра. Форма и вид полярных сияний Сатурна сильно меняются с течением времени. Их расположение и яркость сильно связаны с давлением солнечного ветра: чем оно больше, тем сияния ярче и ближе к полюсу. Среднее значение мощности полярного сияния составляет 50 ГВт в диапазоне 80—170 нм (ультрафиолет) и 150—300 ГВт в диапазоне 3—4 мкм (инфракрасный).

Во время бурь и штормов на Сатурне наблюдаются мощные разряды молнии. Электромагнитная активность Сатурна, вызванная ими колеблется с годами от почти полного отсутствия до очень сильных электрических бурь.

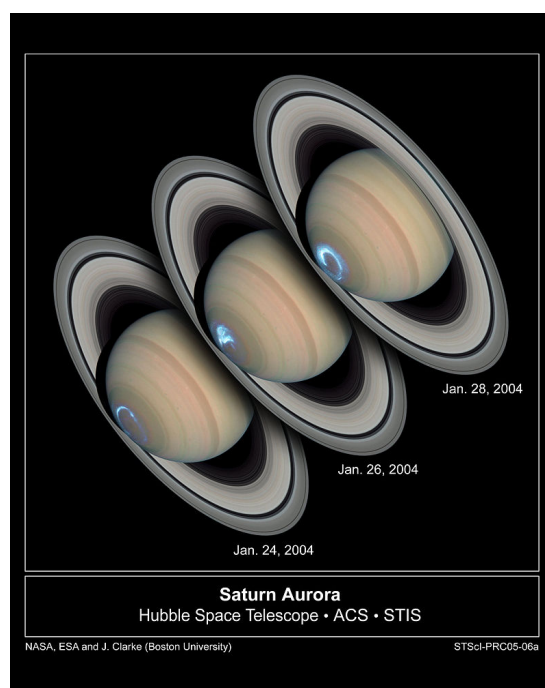


рис.2 Тип полярного сияния, которое образует кольцо вокруг полюса планеты

Облака на северном полюсе Сатурна образуют гигантский шестиугольник. Впервые это обнаружено во время пролётов «Вояджера» около Сатурна в 1980-х годах, подобное явление никогда не наблюдалось ни в одном другом месте Солнечной системы. Шестиугольник располагается на широте  $78^\circ$ , и каждая его сторона составляет приблизительно 13 800 км, то есть больше диаметра Земли. Период его вращения — 10 часов 39 минут. Этот период совпадает с периодом изменения интенсивности радиоизлучения, который, в свою очередь, принят равным периоду вращения внутренней части Сатурна.

Странная структура облаков показана на инфракрасном изображении, полученном обращающимся вокруг Сатурна космическим аппаратом «Кассини» в октябре 2006 года. Изображения показывают, что шестиугольник оставался стабильным все 20 лет после полёта «Вояджера», причём шестиугольная структура облаков сохраняется во время их вращения. Отдельные облака на Земле могут иметь форму шестиугольника, но, в отличие от них, шестиугольник на Сатурне близок к правильному. Внутри него могут поместиться четыре Земли. Предполагается, что в районе гексагона имеется значительная неравномерность облачности. Области, в которых облачность практически отсутствует, имеют высоту до 75 км.

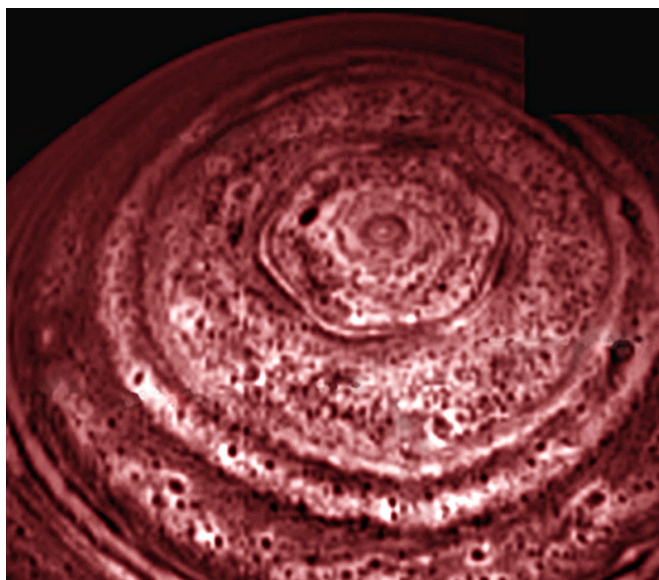


рис.3 Гексагональное атмосферное образование на северном полюсе Сатурна

Полного объяснения этого явления пока нет, однако учёным удалось провести эксперимент, который довольно точно смоделировал эту атмосферную структуру. 30-литровый баллон с водой поставили на вращающуюся установку, причём внутри были размещены маленькие кольца, вращающиеся быстрее ёмкости. Чем больше была скорость кольца, тем больше форма вихря, который образовывался при совокупном вращении элементов установки, отличалась от круговой. В этом эксперименте был получен, в том числе, и 6-угольный вихрь.

# Структура

В глубине атмосферы Сатурна растут давление и температура, а водород переходит в жидкое состояние, однако этот переход является постепенным. На глубине около 30 тыс. км водород становится металлическим (давление там достигает около 3 миллионов атмосфер).

Циркуляция

электрических токов в

металлическом водороде создаёт магнитное поле (гораздо менее мощное, чем у Юпитера). В центре

планеты находится массивное ядро из твердых и тяжёлых материалов — силикатов, металлов и, предположительно, льда. Его масса составляет приблизительно от 9 до 22 масс Земли. Температура ядра достигает  $11\,700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а энергия, которую Сатурн излучает в космос, в 2,5 раза больше энергии, которую планета получает от Солнца. Значительная часть этой энергии генерируется за счёт механизма Кельвина — Гельмгольца (когда температура планеты падает, то падает и давление в ней, в результате она сжимается, а потенциальная энергия её вещества переходит в тепло). При этом, однако, было показано, что этот механизм не может являться единственным источником энергии планеты.

Предполагается, что дополнительная часть тепла создаётся за счёт конденсации и последующего падения капель гелия через слой водорода (менее плотный, чем капли) вглубь ядра. Результатом является переход потенциальной энергии этих капель в тепловую. По оценкам, область ядра имеет диаметр приблизительно 25 000 км.

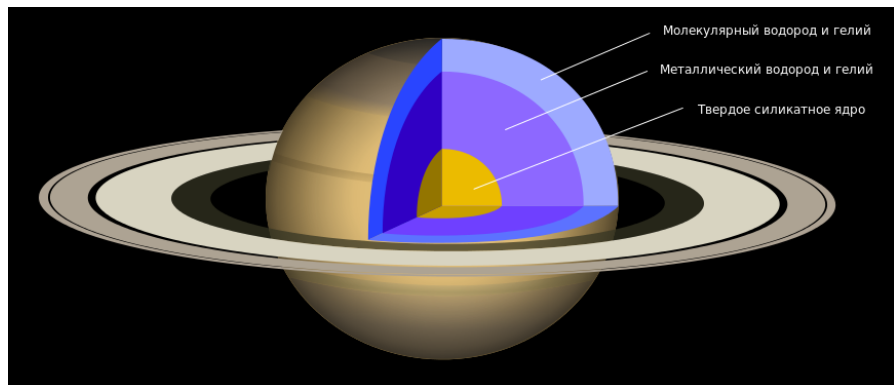


рис.4 Структура Сатурна