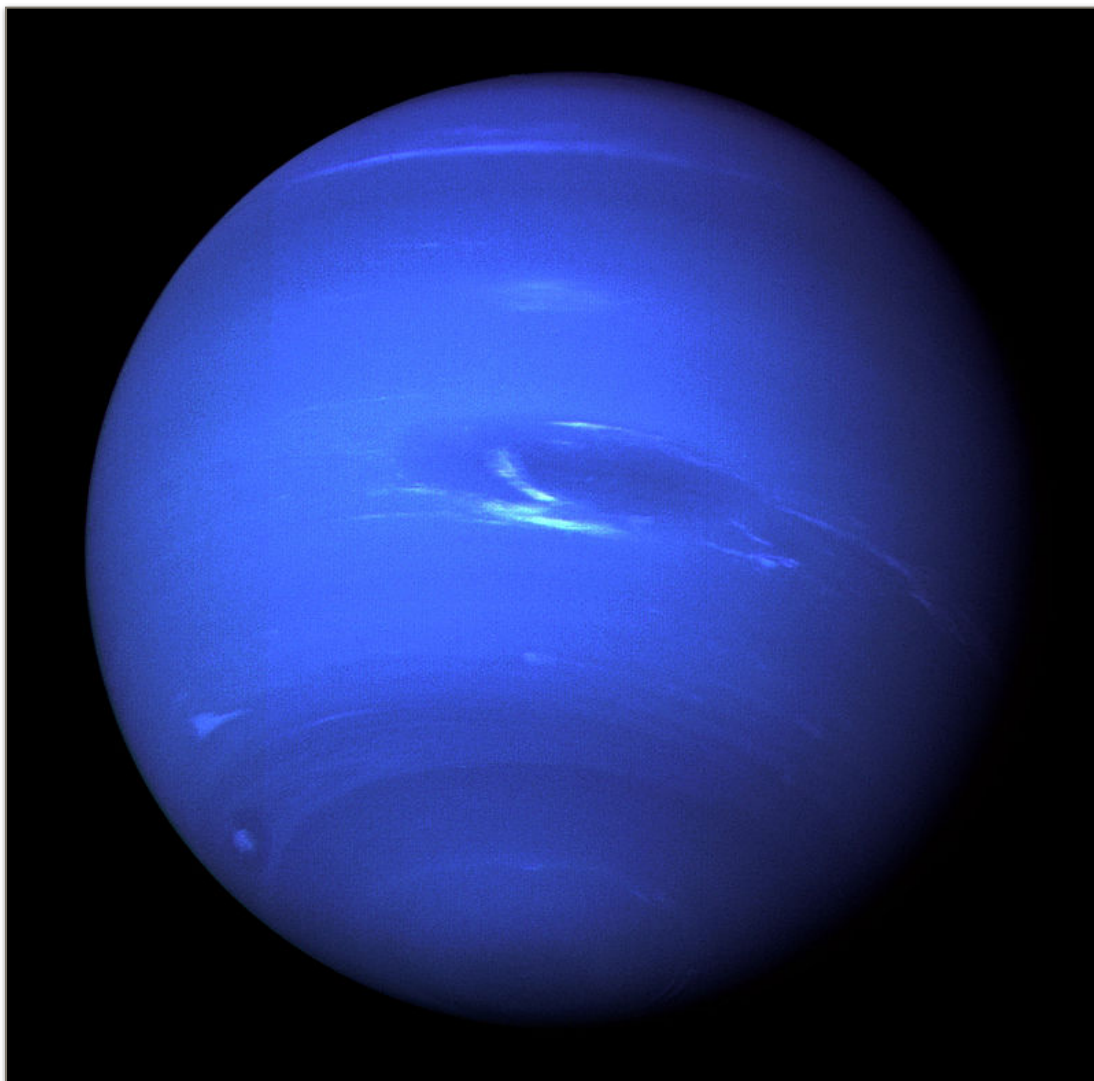


# Нептун



Общие сведения	1
Открытие Нептуна	2
Атмосфера	4
Структура	6

# Общие сведения

Нептун — восьмая планета Солнечной системы. Нептун также является четвёртой по диаметру и третьей по массе планетой. Масса Нептуна в 17,2 раза, а диаметр экватора в 3,9 раза больше земных. Планета была названа в честь римского бога морей. Её астрономический символ — стилизованная версия трезубца Нептуна.

Обнаруженный 23 сентября 1846 года, Нептун стал первой планетой, открытой благодаря математическим расчётам, а не путём регулярных наблюдений.

Обнаружение непредвиденных изменений в орбите Урана породило гипотезу о неизвестной планете, гравитационным возмущающим влиянием которой они и обусловлены. Нептун был найден в пределах предсказанного положения. Вскоре был открыт и его спутник Тритон, однако остальные 13 спутников, известные ныне, были неизвестны до XX века. Нептун был посещён лишь одним космическим аппаратом, «Вояджером-2», который пролетел вблизи от планеты 25 августа 1989 года.

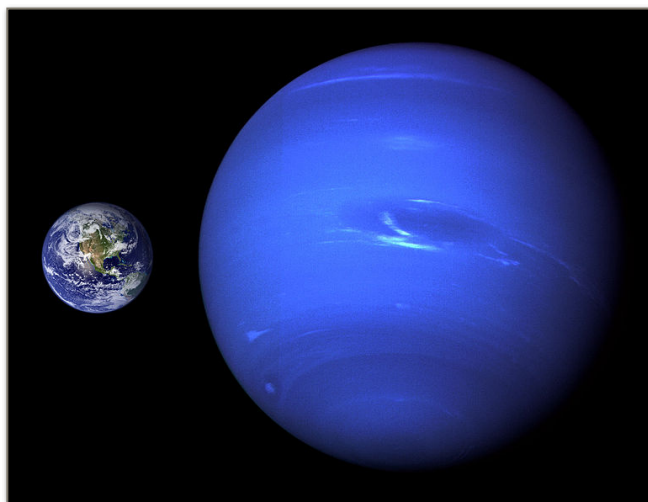


рис.1 Сравнение размеров Нептуна и Земли

Нептун по составу близок к Урану, и обе планеты отличаются по составу от более крупных планет-гигантов — Юпитера и Сатурна. Иногда Уран и Нептун помещают в отдельную категорию «ледяных гигантов». Атмосфера Нептуна, подобно атмосфере Юпитера и Сатурна, состоит в основном из водорода и гелия, наряду со следами углеводородов и, возможно, азота, однако содержит более высокую долю льдов: водного, аммиачного, метанового. Недра Нептуна, как и Урана, состоит главным образом из льдов и горных пород. Следы метана во внешних слоях атмосферы, в частности, являются причиной синего цвета планеты.

В атмосфере Нептуна бушуют самые сильные ветры среди планет Солнечной системы, по некоторым оценкам, их скорости могут достигать 2100 км/ч. Во время пролёта «Вояджера-2» в 1989 году в южном полушарии Нептуна было обнаружено так называемое Большое тёмное пятно, аналогичное Большому красному пятну на Юпитере. Температура Нептуна в верхних слоях атмосферы близка к  $-220^{\circ}\text{C}$ . В центре Нептуна температура составляет по различным оценкам от 5400 К до 7000—7100  $^{\circ}\text{C}$ , что сопоставимо с температурой на поверхности Солнца и сравнимо с внутренней температурой большинства известных планет. У Нептуна есть слабая и фрагментированная система колец, возможно, обнаруженная ещё в 1960-е годы, но достоверно подтверждённая «Вояджером-2» лишь в 1989 году.

В 1948 году в честь открытия планеты Нептун было предложено назвать новый химический элемент под номером 93 нептунием.

12 июля 2011 года исполнился ровно один Нептунианский год — или 164,79 земного года — с момента открытия Нептуна 23 сентября 1846 года.

# Открытие Нептуна

Согласно зарисовкам, Галилео Галилей наблюдал Нептун 28 декабря 1612 года, а затем 29 января 1613 года. Однако в обоих случаях Галилей принял планету за неподвижную звезду в соединении с Юпитером на ночном небе. Поэтому Галилей не считается первооткрывателем Нептуна.

Во время первого периода наблюдений в декабре 1612 года Нептун был в точке стояния, как раз в день наблюдений он перешёл к попятному движению. Видимое попятное движение наблюдается, когда Земля обгоняет по своей орбите внешнюю планету. Поскольку Нептун был вблизи точки стояния, движение планеты было слишком слабым, чтобы быть замеченным с помощью маленького телескопа Галилея.

В 1821 году Алексис Бувар опубликовал астрономические таблицы орбиты Урана. Более поздние наблюдения показали существенные отклонения реального движения Урана от таблиц. В частности, английский астроном Т.Хасси на основе собственных наблюдений обнаружил аномалии в орбите Урана и предположил, что они могут быть вызваны наличием внешней планеты. В 1834 Хасси посетил Бувара в Париже и обсудил с ним вопрос об этих аномалиях. Бувар согласился с гипотезой Хасси и обещал провести расчёты, необходимые для поиска гипотетической планеты, если найдёт время для этого, но в дальнейшем не занимался этой проблемой. В 1843 Джон Куч Адамс вычислил орбиту гипотетической восьмой планеты для объяснения изменения в орбите Урана. Он послал свои вычисления сэру Джорджу Эйри, королевскому астроному, а тот в ответном письме попросил разъяснений. Адамс начал набрасывать ответ, но почему-то так и не отправил его и в дальнейшем не настаивал на серьёзной работе по данному вопросу.

Урбен Леверье независимо от Адамса в 1845—1846 годы провёл свои собственные расчёты, но астрономы Парижской обсерватории не разделяли его энтузиазма и проводить поиски предполагаемой планеты не стали. В июне, ознакомившись с первой опубликованной Леверье оценкой долготы планеты и убедившись в её схожести с оценкой Адамса, Эйри убедил директора Кембриджской обсерватории Д. Чэллиса начать поиски планеты, которые безуспешно продолжались в течение августа и сентября. Чэллис дважды наблюдал Нептун, но, вследствие того, что он отложил обработку результатов наблюдений на более поздний срок, ему не удалось своевременно идентифицировать искомую планету.



рис.2 Урбен Леверье

Тем временем Леверье удалось убедить астронома Берлинской обсерватории Иоганна Готтфрида Галле заняться поисками планеты. Генрих д'Арре, студент обсерватории, предложил Галле сравнить недавно нарисованную карту неба в районе предсказанного Леверье местоположения с видом неба на текущий момент, чтобы заметить передвижение планеты относительно неподвижных звёзд. Планета была обнаружена в первую же ночь примерно после одного часа поисков. Вместе с директором обсерватории Иоганном Энке в течение двух ночей они продолжили наблюдение участка неба, где находилась планета, в результате чего им удалось обнаружить её передвижение относительно звёзд и убедиться, что это действительно новая планета. Нептун был обнаружен 23 сентября 1846 года, в пределах  $1^\circ$  от координат, предсказанных Леверье, и примерно в  $12^\circ$  от координат, предсказанных Адамсом.

Вслед за открытием последовал спор между англичанами и французами за право считать открытие Нептуна своим. В конечном счёте, консенсус был найден и было принято решение считать Адамса и Леверье сооткрывателями. В 1998 году были вновь найдены так

называемые «бумаги Нептуна» (имеющие историческое значение бумаги из Гринвичской обсерватории), которые были незаконно присвоены астрономом Олином Дж. Эггеном, хранились у него в течение почти трёх десятилетий и были найдены в его владении только после его смерти. После пересмотра документов некоторые историки теперь полагают, что Адамс не заслуживает равных с Леверье прав на открытие Нептуна (что, впрочем, подвергалось сомнениям и ранее: например Деннисом Роулинсом ещё с 1966 года). В 1992 году в статье в журнале «Dio» он назвал требования британцев признать равноправие Адамса на открытие воровством. «Адамс проделал некоторые вычисления, но он был немного не уверен в том, где находится Нептун» — сказал Николас Коллеструм из Университетского колледжа Лондона в 2003 году.

С момента открытия и до 1930 года Нептун оставался самой далёкой от Солнца известной планетой. После открытия Плутона Нептун стал предпоследней планетой, за исключением 1979—1999 годов, когда Плутон находился внутри орбиты Нептуна. Однако исследование пояса Койпера в 1992 году привело к обсуждению вопроса о том, считать ли Плутон планетой или частью пояса Койпера. В 2006 году Международный астрономический союз принял новое определение термина «планета» и классифицировал Плутон как карликовую планету, и, таким образом, вновь сделал Нептун последней планетой Солнечной системы.

# Атмосфера

В верхних слоях атмосферы обнаружен водород и гелий, которые составляют соответственно 80 и 19 % на данной высоте. Также наблюдаются следы метана. Заметные полосы поглощения метана встречаются на длинах волн выше 600 нм в красной и инфракрасной части спектра. Как и в случае с Ураном, поглощение красного света метаном является важнейшим фактором, придающим атмосфере Нептуна синий оттенок, хотя яркая лазурь Нептуна отличается от более умеренного аквамаринового цвета Урана. Так как содержание метана в атмосфере Нептуна не сильно отличается от такового в атмосфере Урана, предполагается, что существует также некий, пока неизвестный, компонент атмосферы, способствующий образованию синего цвета. Атмосфера Нептуна подразделяется на 2 основные области:

более низкая тропосфера, где температура снижается вместе с высотой, и стратосфера, где температура с высотой, наоборот, увеличивается. Граница между ними, тропопауза, находится на уровне давления в 0,1 бар. Стратосфера сменяется термосферой на уровне давления ниже, чем  $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  микробар. Термосфера постепенно переходит в экзосферу. Модели тропосферы Нептуна позволяют полагать, что в зависимости от высоты, она состоит из облаков переменных составов. Облака верхнего уровня находятся в зоне давления ниже одного бара, где температура способствует конденсации метана.



рис.3 Вертикальный рельеф облаков Нептуна

При давлении между одним и пятью барами, формируются облака аммиака и сероводорода. При давлении более 5 бар облака могут состоять из аммиака, сульфида аммония, сероводорода и воды. Глубже, при давлении в приблизительно 50 бар, могут существовать облака из водяного льда, при температуре, равной 0 °С. Также, не исключено, что в данной зоне могут быть найдены облака из аммиака и сероводорода. Высотные облака Нептуна наблюдались по отбрасываемым ими теням на непрозрачный облачный слой ниже уровнем. Среди них выделяются облачные полосы, которые «обёртываются» вокруг планеты на постоянной широте. У данных периферических групп ширина достигает 50—150 км, а сами они находятся на 50—110 км выше основного облачного слоя. Изучение спектра Нептуна позволяет предполагать, что его более низкая стратосфера затуманена из-за конденсации продуктов ультрафиолетового фотолиза метана, таких как этан и ацетилен. В стратосфере также обнаружены следы циановодорода и угарного газа. Стратосфера Нептуна более тёплая, чем стратосфера Урана из-за более высокой концентрации углеводородов. По невыясненным причинам, термосфера планеты имеет аномально высокую температуру около 750 К. Для столь высокой температуры планета слишком далека от Солнца, чтобы оно могло так разогреть термосферу ультрафиолетовой радиацией. Возможно, данное явление является следствием атмосферного взаимодействия с ионами в магнитном поле планеты. Согласно другой теории, основой механизма разогревания являются волны гравитации из внутренних областей планеты, которые рассеиваются в атмосфере. Термосфера содержит следы угарного газа и воды, которая попала туда, возможно, из внешних источников, таких как метеориты и пыль.

Одно из различий между Нептуном и Ураном — уровень метеорологической активности. «Вояджер-2», пролетавший вблизи Урана в 1986 году, зафиксировал крайне слабую



активность атмосферы. В противоположность Урану, на Нептуне были отмечены заметные перемены погоды во время съёмки с «Вояджера-2» в 1989 году

Погода на Нептуне характеризуется чрезвычайно динамической системой штормов, с ветрами, достигающими почти сверхзвуковых скоростей (около 600 м/с). В ходе отслеживания движения постоянных облаков было зафиксировано изменение скорости ветра от 20 м/с в восточном направлении к 325 м/с на западном. В верхнем облачном слое скорости ветров разнятся от 400 м/с вдоль экватора до 250 м/с на полюсах. Большинство ветров на Нептуне дуют в направлении, обратном вращению планеты вокруг своей оси. Общая схема ветров показывает, что на высоких широтах направление ветров совпадает с направлением вращения планеты, а на низких широтах противоположно ему. Различия в направлении воздушных потоков, как полагают, следствие «скин-эффекта», а не каких-либо глубинных атмосферных процессов. Содержание в атмосфере метана, этана и ацетилена в области экватора превышает в десятки и сотни раз содержание этих веществ в области полюсов. Это наблюдение может считаться свидетельством в пользу существования апвеллинга на экваторе Нептуна и его понижения ближе к полюсам. В 2007 году было замечено, что верхняя тропосфера южного полюса Нептуна была на 10 °С теплее, чем остальная часть Нептуна, где температура в среднем составляет –200 °С. Такая разница в температуре достаточна, чтобы метан, который в других областях верхней части атмосферы Нептуна находится в замороженном виде, просачивался в космос на южном полюсе. Эта «горячая точка» — следствие осевого наклона Нептуна, южный полюс которого уже четверть непунианского года, то есть примерно 40 земных лет, обращён к Солнцу. По мере того, как Нептун будет медленно продвигаться по орбите к противоположной стороне Солнца, южный полюс постепенно уйдёт в тень, и Нептун подставит Солнцу северный полюс. Таким образом, высвобождение метана в космос переместится с южного полюса на северный. Из-за сезонных изменений облачные полосы в южном полушарии Нептуна, как наблюдалось, увеличились в размере и альбедо. Эта тенденция была замечена ещё в 1980 году, и, как ожидается, продлится до 2020 года с наступлением на Нептуне нового сезона. Сезоны меняются каждые 40 лет.

В 1989 году аппаратом НАСА «Вояджер-2» было открыто Большое тёмное пятно, устойчивый шторм-антициклон размерами 13 000 × 6600 км. Этот атмосферный шторм напоминал Большое красное пятно Юпитера, однако 2 ноября 1994 года космический телескоп «Хаббл» не обнаружил его на прежнем месте. Вместо него новое похожее образование было обнаружено в северном полушарии планеты. Скутер — это другой шторм, обнаруженный южнее Большого тёмного пятна. Его название — следствие того, что ещё за несколько месяцев до сближения «Вояджера-2» с Нептуном было ясно, что эта группка облаков перемещалась гораздо быстрее Большого тёмного пятна. Последующие изображения позволили обнаружить ещё более быстрые, чем «скутер», группы облаков. Малое тёмное пятно, второй по интенсивности шторм, наблюдавшийся во время сближения «Вояджера-2» с планетой в 1989 году, расположено ещё южнее. Первоначально оно казалось полностью тёмным, но при сближении яркий центр Малого тёмного пятна стал виднее, что можно заметить на большинстве чётких фотографий с высоким разрешением

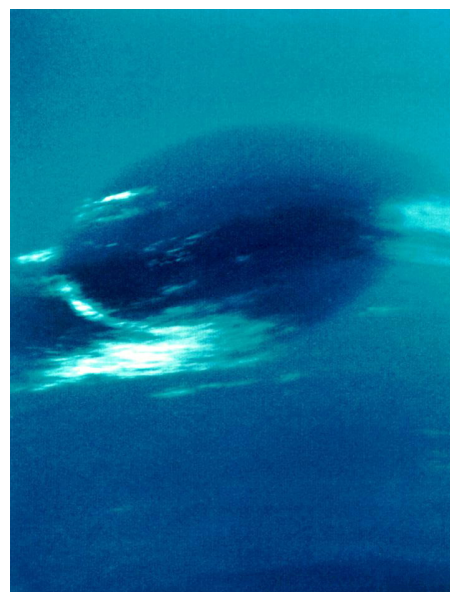


рис.4 Большое черное пятно

# Структура

Внутреннее строение Нептуна напоминает внутреннее строение Урана. Атмосфера составляет примерно 10—20 % от общей массы планеты, и расстояние от поверхности до конца атмосферы составляет 10—20 % расстояния от поверхности до ядра. Вблизи ядра давление может достигать 10 ГПа. Объёмные концентрации метана, аммиака и воды найдены в нижних слоях атмосферы.

Постепенно эта более тёмная и более горячая область уплотняется в перегретую жидкую мантию, где температуры достигают 2000—5000 К. Масса мантии Нептуна превышает земную в 10—15 раз, по разным оценкам, и богата водой, аммиаком, метаном и прочими соединениями. По общепринятой в планетологии терминологии эту материю называют ледяной, даже при том, что это горячая, очень плотная жидкость. Эту жидкость, обладающую высокой электропроводимостью, иногда называют океаном водного аммиака. На глубине 7000 км условия таковы, что метан разлагается на алмазные кристаллы, которые «падают» на ядро. Согласно одной из гипотез, имеется целый океан «алмазной жидкости». Ядро Нептуна состоит из железа, никеля и силикатов и, как полагают, имеет массу в 1,2 раза больше, чем у Земли. Давление в центре достигает 7 мегабар, то есть примерно в 7 млн раз больше, чем на поверхности Земли. Температура в центре, возможно, достигает 5400 К.

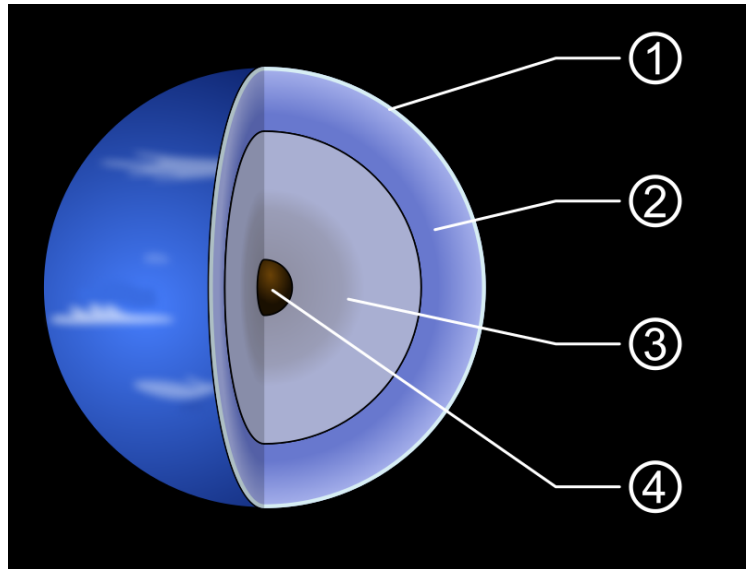


рис.5 Внутреннее строение Нептуна:

1. Верхняя атмосфера, верхние облака
2. Атмосфера, состоящая из водорода, гелия и метана
3. Мантия, состоящая из воды, аммиака и метанового льда
4. Каменно-ледяное ядро