

Спутники планет.



Солнечная система представляет собой большую семью, состоящую из Солнца, планет и их спутников, комет, астероидов, большого количества пыли, газа и мелких частиц. В ней находится девять планет, две из которых не имеют ни одного спутника – это Меркурий и Венера. У остальных планет, за исключением Земли, спутники неизмеримо меньше своих планет.



Земля.



У Земли имеется лишь один спутник – **Луна**, но необычайно большой по сравнению с ней самой

Луна – единственный спутник Земли и единственный внеземной мир, который посетили люди. Она вращается вокруг Земли по орбите, большая полуось которой равна 383 398 км (эксцентриситет 0,055). Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости эклиптики под углом $5^{\circ}09'$. Период обращения равен 27 сут. 7 час 43 мин. Это звездный или сидерический период. Период синодический – период смены лунных фаз – равен 29 сут. 12 час 44 мин.



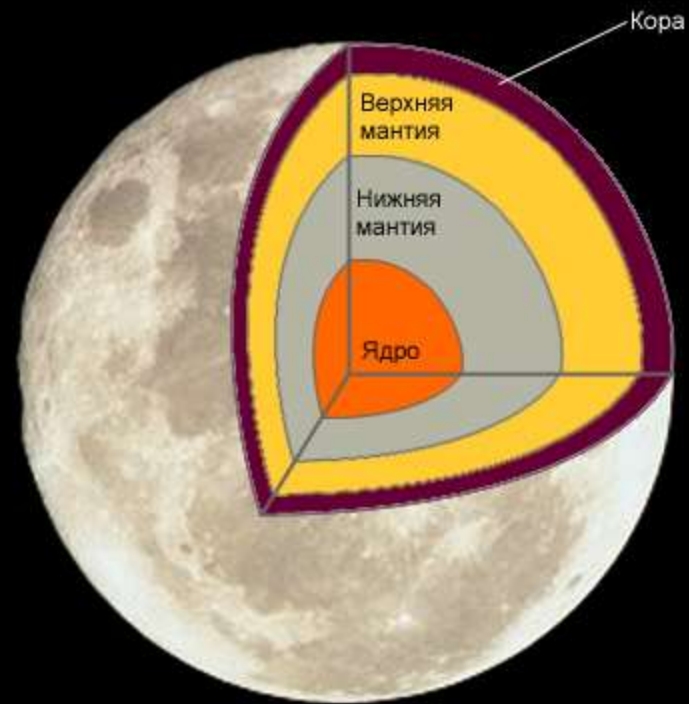
Период вращения Луны вокруг своей оси равен сидерическому периоду. Поскольку время одного оборота Луны вокруг Земли в точности равно времени одного оборота ее вокруг оси, Луна постоянно повернута к Земле одной и той же стороной.

Луна – самый яркий объект на небе после Солнца. Максимальная звездная величина равна $-12,7m$.

Масса спутника Земли составляет $7,3476 \cdot 10^{22}$ кг (в 81,3 раз меньше массы Земли), средняя плотность $\rho = 3,35$ г/см³, экваториальный радиус – 1 737 км. Сжатие с полюсов практически отсутствует.

Ускорение свободного падения на поверхности составляет $g = 1,63$ м/с². Тяготение Луны не смогло удержать ее атмосферу, если она когда-то и была.

Плотность Луны сравнима с плотностью земной мантии. Поэтому у Луны либо нет, либо очень незначительное железное ядро. Внутреннее строение Луны изучено по сейсмическим данным, переданным на Землю приборами космических экспедиций «Аполлон». Толщина коры Луны 60–100 км. Толщина верхней мантии 400 км. В ней сейсмические скорости зависят от глубины и уменьшаются в зависимости от расстояния. Толщина средней мантии около 600 км. В средней мантии сейсмические скорости постоянны. Нижняя мантия расположена глубже 1100 км. Ядро Луны, начинающееся на глубине 1500 км, возможно, жидкое. Оно почти не содержит железа. Поэтому Луна имеет очень слабое магнитное поле, не превышающее одной десятитысячной доли земного магнитного поля. Зарегистрированы местные магнитные аномалии.



Изучение лунных пород, доставленных на Землю, позволило оценить возраст Луны методом радиоактивного распада. Камни на Луне стали твердыми около 4,4 млрд. лет назад. Согласно теории российского астронома Евгении Рускол, Луна сформировалась из остатков протопланетного вещества, окружавшего молодую Землю. Иную теорию разработал американский астроном Алистер Камерон: он считает, что Земля на стадии формирования столкнулась с крупным небесным телом. Выброшенные в результате столкновения обломки объединились в наш спутник.

Образцы лунных пород, доставленные на Землю. Слева 1,5-килограммовый базальт одного из лунных морей. В центре анортозит, по составу похожий на лунную кору возвышенных регионов. Справа горные породы со дна кратера, образовавшиеся в результате падения метеорита.



Предполагают, что в ранние периоды своей истории Луна вращалась вокруг оси быстрее и, следовательно, поворачивалась к Земле разными частями своей поверхности. Но из-за близости массивной Земли в твердом теле Луны возникали значительные **приливные волны**. Процесс торможения Луны продолжался до тех пор, пока она не оказалась постоянно повернутой к нам только одной стороной.

Атмосфера на Луне практически отсутствует. Это обуславливает резкие перепады температур в несколько сотен градусов. В дневное время температура на поверхности достигает 130°C , а ночью она опускается до -170°C . В то же время на глубине 1 м температура почти всегда постоянная. Небо над Луной всегда черное, поскольку для образования голубого цвета неба необходим воздух, который там отсутствует. Нет там и погоды, не дуют и ветры. Кроме того, на Луне царит полная тишина.

С Земли наблюдается только видимая часть Луны. Но это не 50 % поверхности, а несколько больше. Луна обращается вокруг Земли по эллипсу, около перигея Луна движется быстрее, а около апогея – медленнее. Но вокруг оси Луна вращается равномерно. Вследствие этого возникает **либрация** по долготе. Возможная наибольшая величина ее составляет $7^{\circ}54'$. Благодаря либрации мы имеем возможность наблюдать с Земли кроме видимой стороны Луны еще и примыкающие к ней узкие полосы территории обратной ее стороны. В общей сложности с Земли можно увидеть 59 % лунной поверхности



При наблюдении в телескоп становится ясно, что моря и материки усыпаны кратерами. Особенно выделяются кратер Коперник и кратер Тихо с расходящимися от него почти по всей поверхности Луны белыми лучами. На видимой стороне Луны количество кратеров, диаметр которых больше 1 км, около 300 000. Размеры кратеров колеблются от сотен километров до нескольких сантиметров. Некоторые из них в центре имеют характерное образование – горку; у некоторых кратеров на внутренних стенках имеются террасы. Возле самых молодых кратеров можно видеть лучевые системы – светлые полосы, которые расходятся во все стороны. Эти лучи могут быть вторичными кратерами, порожденными осколками метеорита, которые образовали во время взрыва основной кратер, находящийся в центре.

Кратер Эратосфен диаметром 61 км образовался относительно недавно. На горизонте виден другой молодой кратер – Коперник.



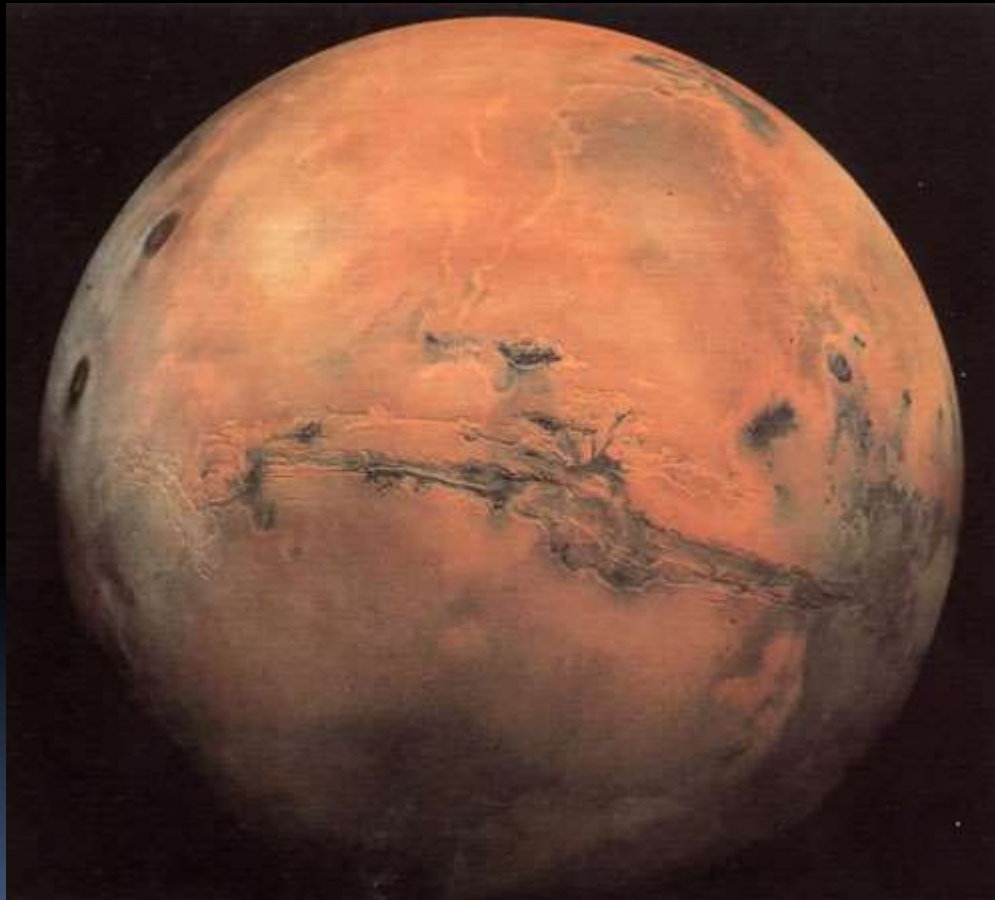
Благодаря исследованию АМС «Луна» и посадкам на поверхность американских астронавтов, поверхностный грунт Луны исследован хорошо. Астронавты привезли на Землю около 385 кг лунных камней. Постоянная бомбардировка Луны крошечными метеоритами является причиной того, что вся ее поверхность, на 9–12 метров вглубь, покрыта слоем мелкого раздробленного спекшегося вещества, образовавшего как бы слежавшуюся губчатую массу. Этот тонкий слой лунной поверхности называют *реголитом*. Реголит является хорошим термоизоляционным материалом, поэтому уже на глубине несколько сантиметров сохраняется постоянная температура.

Ни один камень, доставленный на Землю, никогда не подвергался воздействию воды или атмосферы и не содержал органических останков. Луна – абсолютно мертвый мир.

Обратная сторона Луны является идеальным местом для астрономических наблюдений: она защищает приборы от излучения с Земли, а ночь на Луне длится 14 земных суток. Отсутствие атмосферы делает возможным наблюдения в любом диапазоне.



Марс



Марс – первая после Земли планета Солнечной системы, к которой человек проявил особый интерес с надеждой, что там есть развитая внеземная жизнь. Марс имеет 2 спутника. Они очень малы и близки к его поверхности.



В 1877 году Асаф Холл из Вашингтонской обсерватории открыл два маленьких спутника Марса – *Фобос* и *Деймос*. Спутники Марса намного меньше Луны. Они бесформенны и совсем невелики, рассмотреть их в небольшой телескоп трудно. Природа спутников Марса остается неясной, но по фотографиям «Маринера-9» можно предположить, что и Фобос, и Деймос – каменные тела. Они весьма сильно отличаются от нашей Луны. Ни один из них не дает ночью столько света, сколько Луна. Фобос светит на Марсе примерно так же, как Венера на Земле, а Деймос – еще слабее. Поверхность обоих спутников исключительно темная.



Спутник Марса Деймос.



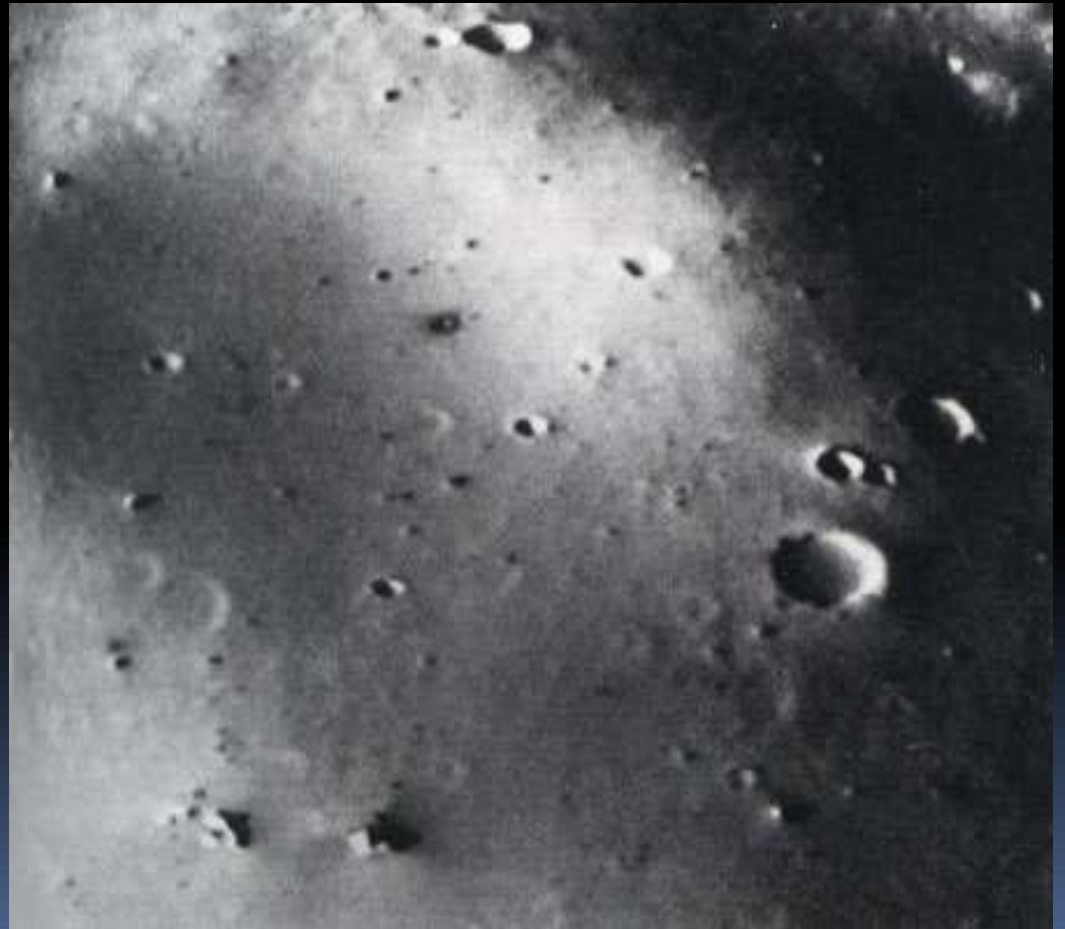
Фобос. Справа кратер Стикни поперечником 10 км. Удар метеорита, образовавший этот кратер, едва не разрушил небесное тело.

Фобос совершает обращение вокруг планеты втрое быстрее, чем сам Марс вращается вокруг своей оси. За сутки Марса Фобос успевает совершить три полных оборота и пройти ещё дугу в 78° . Для марсианского наблюдателя он восходит на западе и заходит на востоке. Между последовательными верхними кульминациями Фобоса проходит 11 часов 07 минут.



Совсем иначе движется по небу Деймос. Его период обращения больше периода вращения Марса, но ненамного. Поэтому он хотя и «нормально» восходит на востоке и заходит на западе, но движется по небу Марса крайне медленно. От одной верхней кульминации до следующей проходит 130 часов – пять с лишним суток.

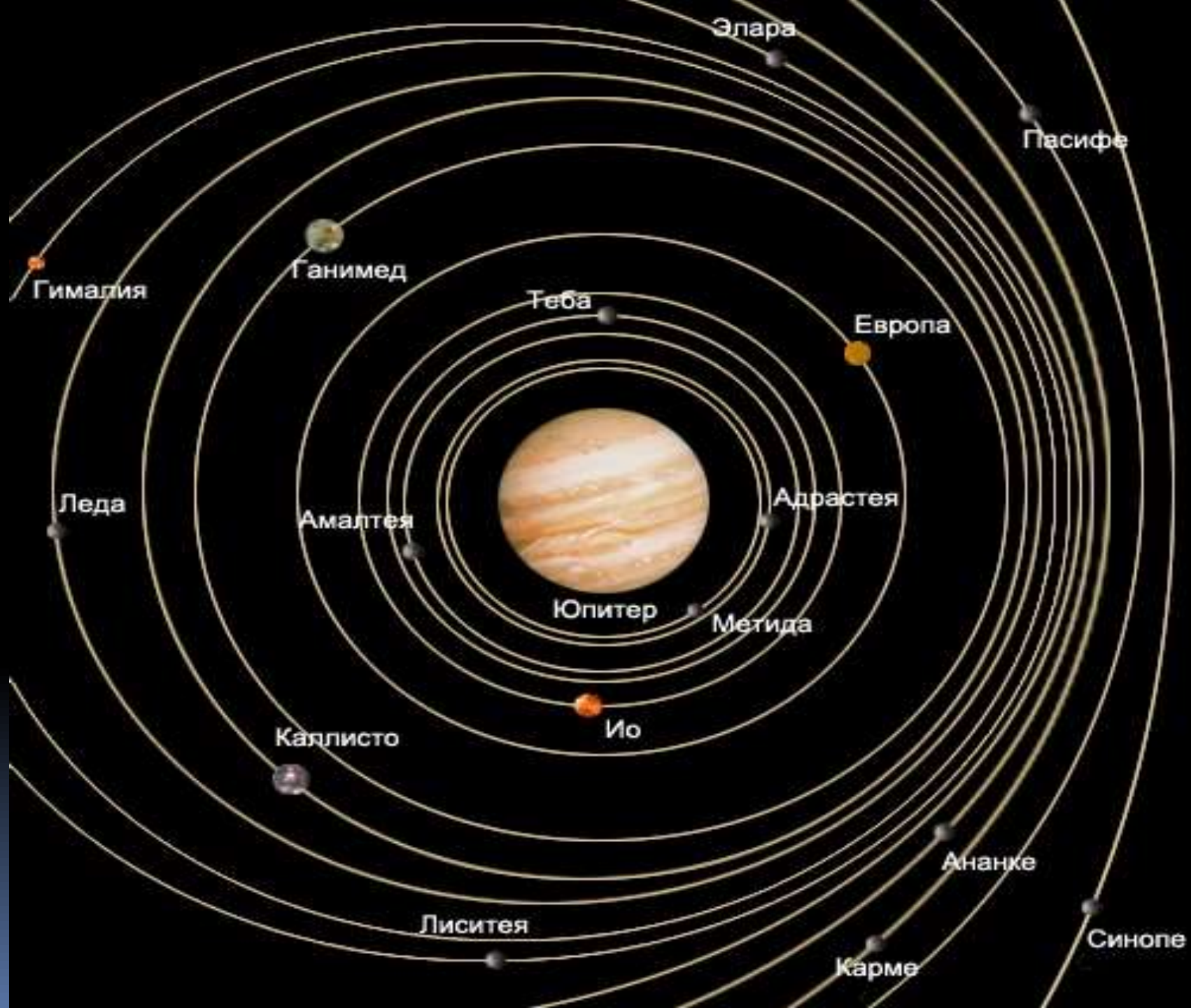
Поверхность Деймоса
с «Викинга-2».



Юпитер, тысячи лет назад названный в честь царя римских богов, господствует и среди девяти г

системы.
К началу третьего тысячелетия у Юпитера известно 28 спутников. Четыре из них отличаются большими размерами и массой. Они движутся почти по круговым орбитам в плоскости экватора планеты. 20 внешних спутников настолько далеки от планеты, что невидимы с ее поверхности невооруженным глазом, а Юпитер в небе самого дальнего из них выглядит меньше Луны.

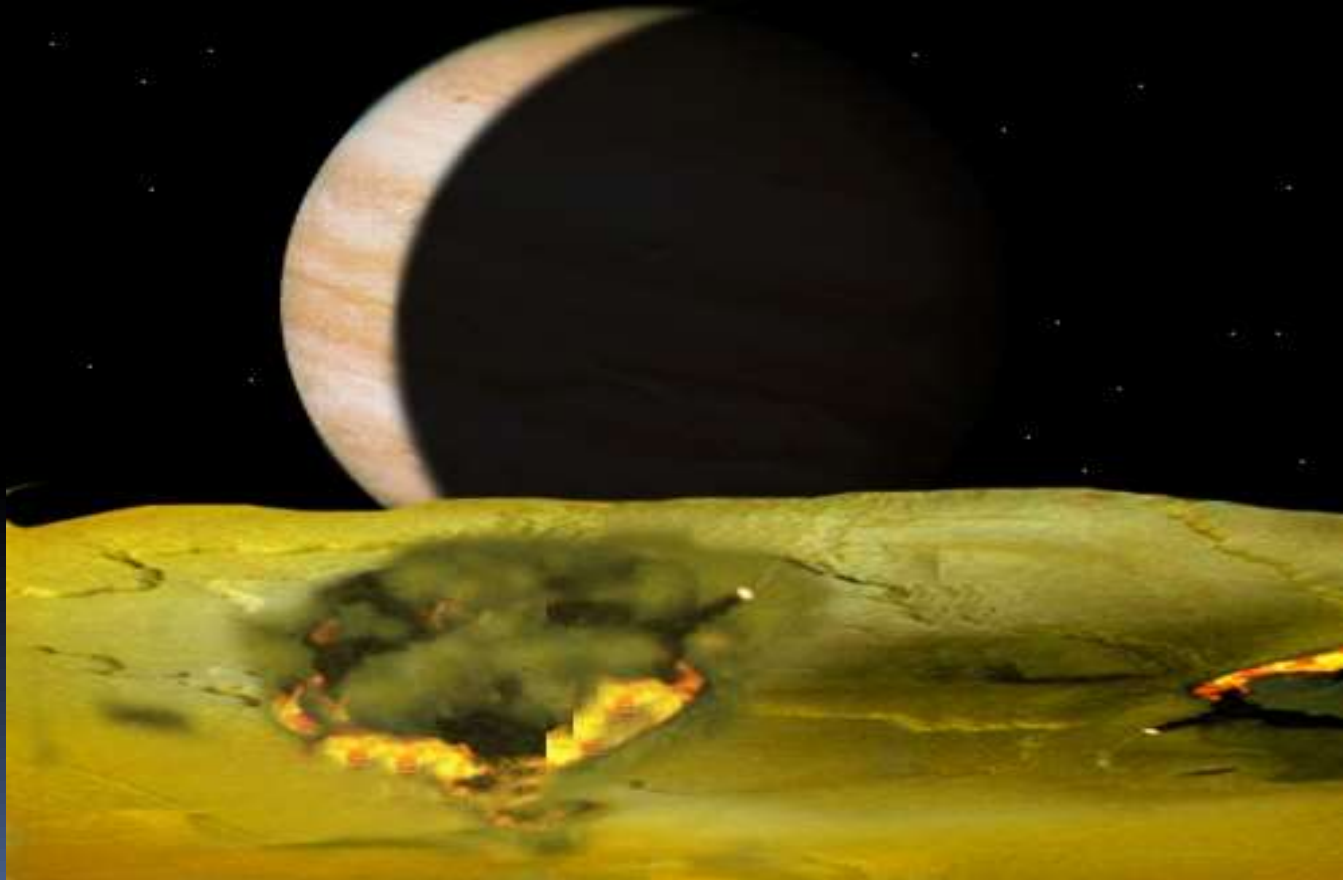




Ио – один из первых спутников Юпитера, открытых в 1610 Галилеем. По массе и радиусу спутник похож на Луну и виден в небе Юпитера как яркий красноватый диск или полумесяц. Диаметр Ио равен 3630 км. Назван спутник в честь возлюбленной Зевса из древнегреческого мифа, которую ревнивая Гера превратила в корову.

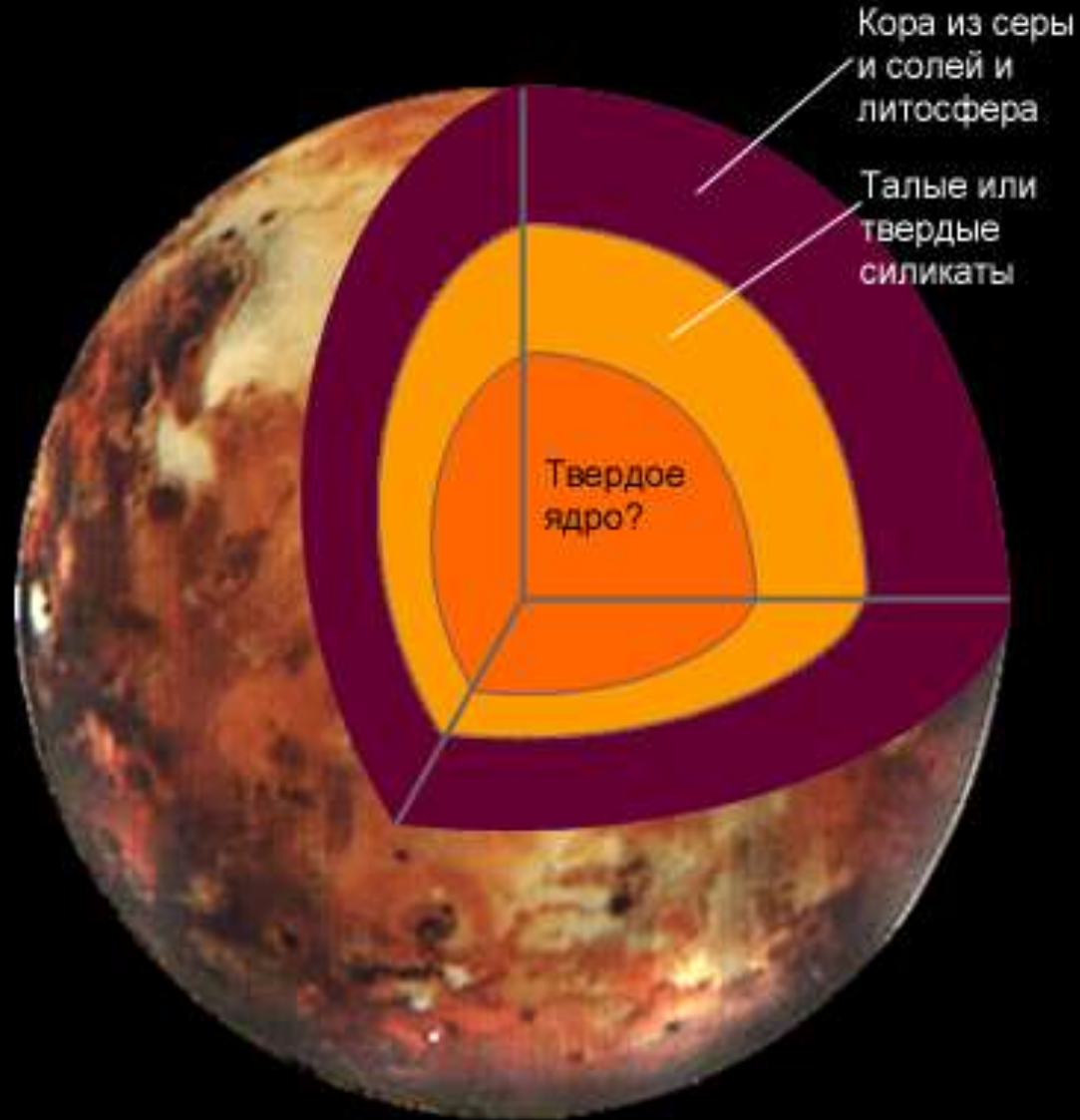


- На Ио обнаружено 20 действующих вулканов, извергающих сульфаты высотой до 300 км. Основным выбрасываемым ими газом – диоксидом серы, замерзающим потом на поверхности Ио в виде белого твердого вещества. Некоторое его количество улетает в космос и образует кольцо, опоясывающее Юпитер. Оранжевый цвет поверхности Ио объясняется отложениями серы и сконденсировавшегося сернистого газа. На Ио зарегистрирована атмосфера в 10 миллионов раз разреженнее, чем на Земле. Но эта атмосфера плотнее, чем на Меркурии.



Поверхность Ио молода (ей около миллиона лет) за счет постоянной сейсмической активности: на ней почти нет метеоритных кратеров; зато обнаружены лавовые потоки и озера черной серы. Расчеты показывают, что Ио разогревается за счет огромных приливных воздействий от Юпитера, Европы и Ганимеда. Спутники Юпитера лежат в области влияния магнитного поля, и это, возможно, также объясняет вулканическую деятельность Ио.

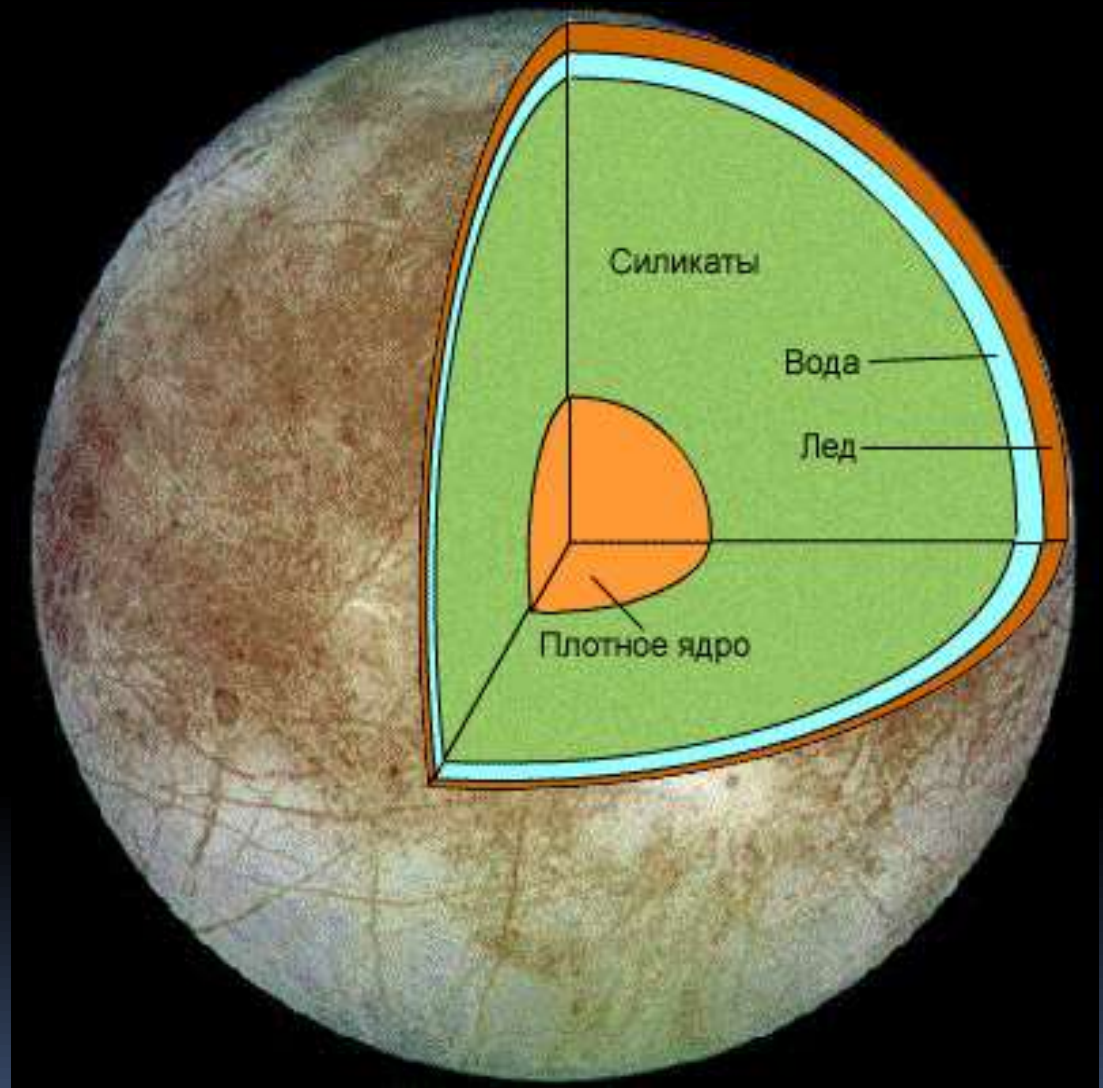
Плотность Ио – $3,55 \text{ г/см}^3$. Под расплавленной силикатной оболочкой находится железистое ядро.



- У царя олимпийцев было много женщин. Очередная из них – царевна Европа, сцену похищения которой Зевсом-быком вы не раз могли видеть в музеях. В честь нее Галилей и назвал очередной открытый им спутник.



- Радиус Европы 1569 км. Она покрыта водяным льдом. По-видимому, под ледяной коркой толщиной в 100 километров существует водный океан, который покрывает силикатное ядро. Плотность спутника достаточно высокая – 3,04 г/см³.





Те линии, которые видны на фотографиях, – это трещины в толстой водяной коре. Их толщина иногда превосходит сотню километров, а длина достигает нескольких тысяч километров. На поверхности Европы практически отсутствуют кратеры, что говорит о молодости поверхности спутника – сотни тысяч или миллионы лет. На ней нет возвышенностей более 100 м высотой.

7 декабря 1995 года космическая станция «Галилео» вышла на орбиту Юпитера, что позволило начать уникальные исследования его четырех спутников: Ио, Ганимеда, Европы и Каллисто. Магнитометрические измерения показали существенные возмущения магнитного поля Юпитера вблизи Европы и Каллисто. Объяснить значительную индукцию и наблюдаемые возмущения магнитного поля не позволяет гипотеза о существовании у этих спутников внутреннего ядра из ферромагнитного вещества, поскольку в таком случае магнитное поле, спадая обратно пропорционально кубу расстояния, было бы в восемь раз меньше наблюдаемого.

По-видимому, выявленные вариации магнитного поля у спутников объясняются наличием «подземного» океана с соленостью, близкой к солености океанов Земли (37,5 ‰). Возможное существование подземного водного океана на Европе дискутируется уже более двух десятилетий. Аккреционные, радиогенные и приливные источники тепла на спутнике достаточно мощны, чтобы стать причиной обезвоживания глубинных слоев и формирования приповерхностного слоя воды толщиной более 100 км. Гравитационные измерения, проведенные аппаратурой станции «Галилео», подтвердили дифференциацию тела Европы: твердое ядро и водно-ледяной покров толщиной около 100 км, хорошо отражающий солнечные лучи. Возможно, этот океан даже теплый: существуют предположения о существовании в нем примитивных форм жизни. Планируются международные экспедиции для исследования предполагаемых океанов Европы.

- Самый большой спутник в системе Юпитера и вообще в Солнечной системе назвали в честь Ганимеда – сына троянского царя, похищенного Зевсом на Олимп, где он стал разносить богам нектар. Радиус спутника 2631 км. По своему диаметру он превосходит Меркурий. Однако, средняя плотность *Ганимеда* всего лишь $\rho = 1,93 \text{ г/см}^3$: на спутнике очень много льда.
- Внешне по фотографиям Ганимед напоминает Луну, но он значительно крупнее ее. 40 % поверхности Ганимеда представляют собой древнюю мощную ледяную кору, покрытую кратерами. 3,5 миллиарда лет назад на ней появились странные области, покрытые бороздами. Огромные ударные кратеры на поверхности Ганимеда образовались в эпоху образования спутников и планет. Молодые кратеры имеют светлое дно и обнажают ледяную поверхность. Кора Ганимеда состоит из смеси льда и темных горных пород.



Ледяная Каллисто

- Названный в честь превращенной в медведицу нимфы *Каллисто* спутник размером примерно с Меркурий – третий по величине после Ганимеда и Титана, его диаметр 4800 км, а средняя плотность $\rho = 1,83 \text{ г/см}^3$. Водяной лед Каллисто составляет до 60 % массы спутника. У Каллисто найдено собственное магнитное поле напряженностью 750 мТл на поверхности. Поэтому предполагается наличие металлического ядра под силикатной корой.



- Так же, как и у Ганимеда, светлые кратеры – это более поздние образования на поверхности спутника. Их там огромное количество: особое внимание привлекает *Валгалла*, напоминающая бассейн Калорис на Меркурии. Возраст поверхности Каллисто измеряется миллиардами лет; на ней практически отсутствуют следы вулканической деятельности. Если наличие океана на Европе можно считать достаточно правдоподобным, то для Каллисто более вероятно его отсутствие. Хотя мощность аккреционных и радиогенных источников тепла на спутнике близка к требуемой для возникновения жидкой фазы, то есть температура должна быть не менее 0°C , гравитационные измерения с борта «Галилео» показали, что этот спутник состоит только из металлической оболочки и льда.

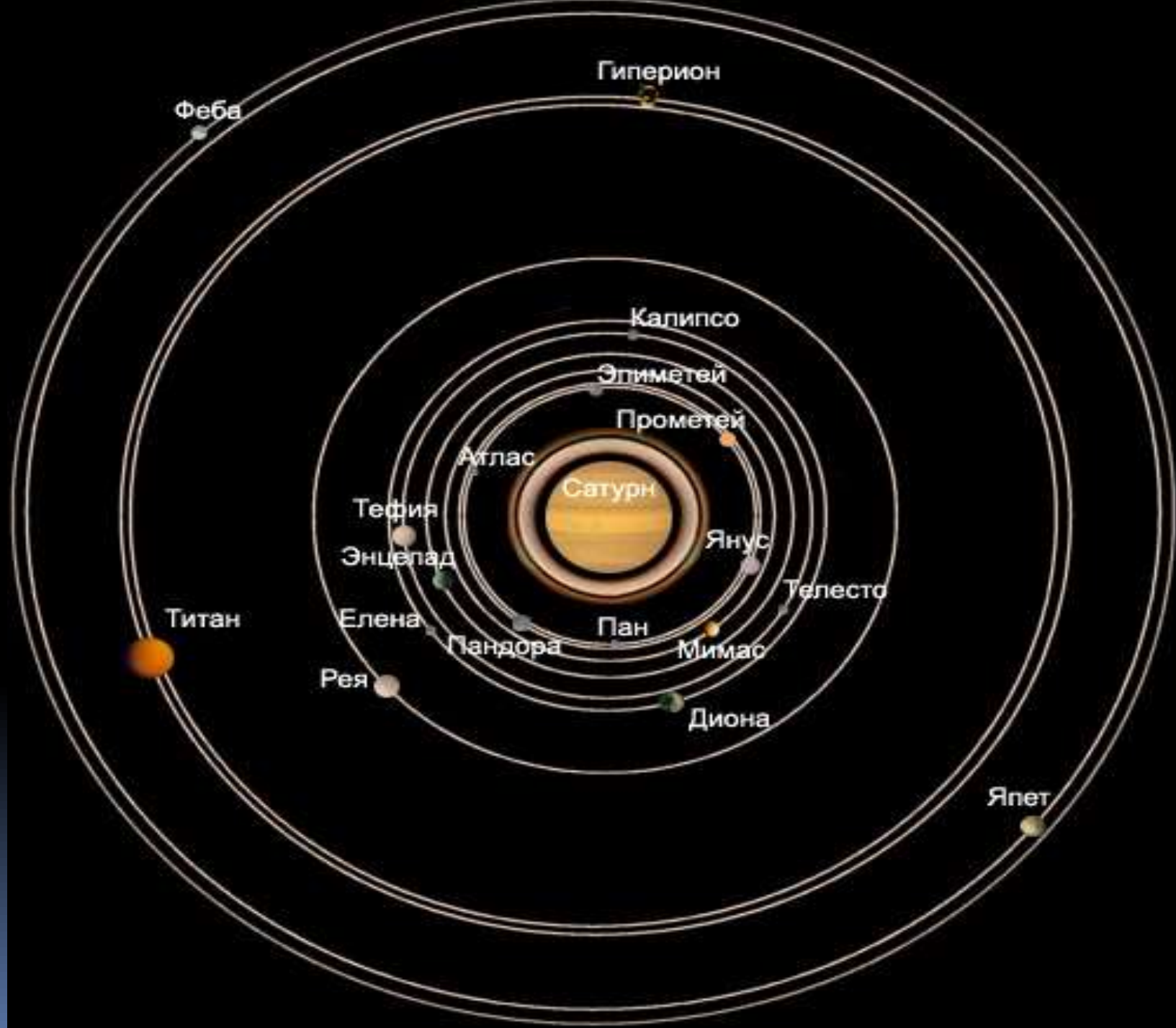
Система
концентрических
трещин Валгалла (в
левой части
фотографии) имеет
диаметр более
3000 км. Как круги на
воде разбежались
трещины по
поверхности спутника
после удара
гигантского
метеорита



Спутники Сатурна

- Система *спутников Сатурна* довольно сложна. Известны 30 спутников, характеристики которых внесены в таблицу. Двенадцать из них открыты за последние несколько лет.



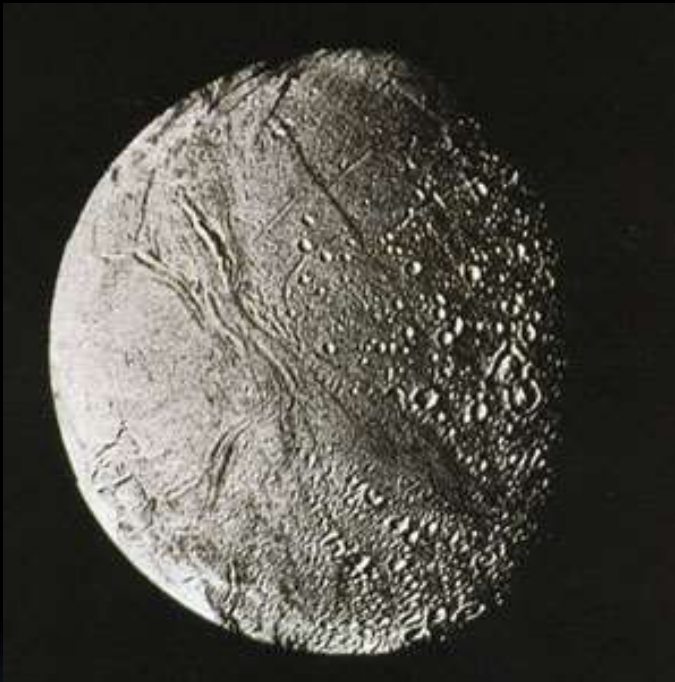


- Спутники Сатурна (и других планет-гигантов) можно разделить на две группы – регулярные и иррегулярные. Регулярные спутники движутся по почти круговым орбитам, лежащим недалеко от планеты вблизи ее экваториальной плоскости. Все регулярные спутники обращаются в одном направлении – в направлении вращения самой планеты. Это указывает на то, что сформировались эти спутники в газопылевом облаке, окружавшем планету в период ее рождения. В отличие от них, иррегулярные спутники обращаются далеко от планеты, по хаотическим орбитам, ясно указывающим, что эти тела были захвачены планетой сравнительно недавно из числа пролетавших мимо нее астероидов или ядер комет.

Мимас.
Огромный
ударный кратер
Гершель имеет
около 130 км в
диаметре



- Большинство спутников состоит из льда: их плотность не превышает 1400 кг/м³. У наиболее крупных спутников формируется каменистое ядро. Почти все спутники всегда повернуты к планете одной стороной.



Энцелад – самое светлое тело Солнечной системы (альбедо близко к 1). Оно покрыто, по-видимому, тонким слоем инея. Два наиболее крупных кратера справа носят имена Али Бабы и Аладдина



Тетия знаменита кратером Одиссей (400 км, около 2/5 диаметра спутника) и гигантским каньоном Итака, протянувшимся на 3 тысячи километров.

Тефия, открытая в 1684 Джованни Кассини, как бы «пасет» два других спутника – Телесто и Калипсо, расположенных на 60° впереди и позади Тефии. Подобным образом движутся Троянцы вместе с Юпитером. Спутник перед собой имеет и другая крупная луна – *Диона*.

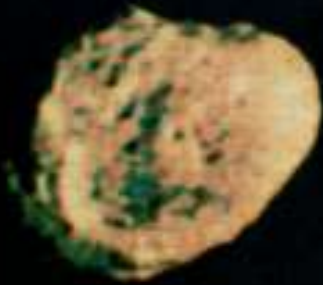


Диона. Крупнейший кратер имеет размеры около 100 км в поперечнике



На спутнике Сатурна Рее есть кратеры диаметром вплоть до 300 км. Это второй по размерам (после Титана) спутник Сатурна

- Темный *Гиперион* не имеет постоянной скорости вращения вокруг своей оси: она меняется в течение месяца на десятки процентов. Спутник Сатурна *Феба* обращается вокруг планеты в обратную сторону. Мелкая пыль от него попадает на «переднюю» (по ходу движения) поверхность *Япета*, вызывая сильное ее почернение.



Гиперион –
темный
спутник
неправильной
формы с
хаотическим
собственным
вращением



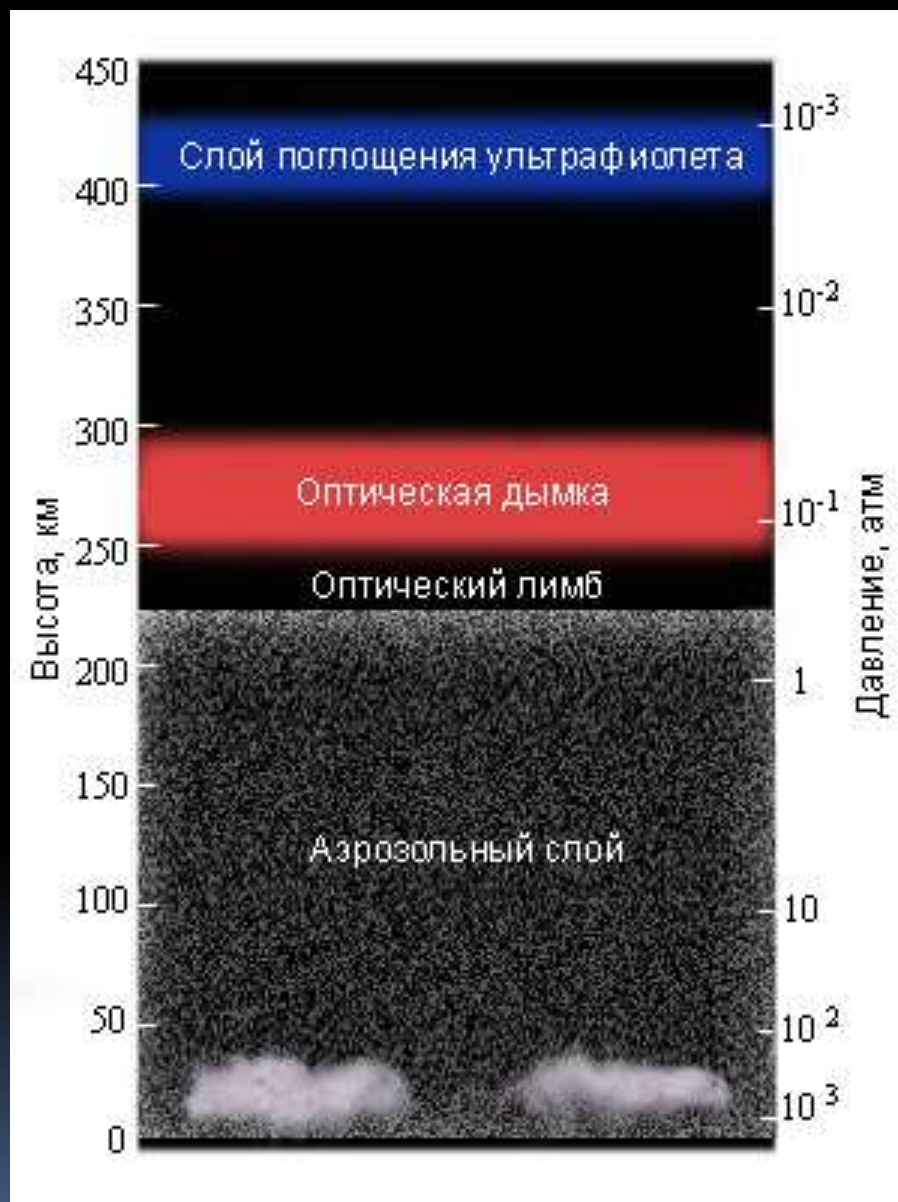
Япет.

Самый крупный спутник Сатурна, *Титан*, открытый в 1655 году Христианом Гюйгенсом, по своей величине превосходит планету Меркурий. Его диаметр 5150 км. Плотность Титана $\rho = 1888 \text{ кг/м}^3$.

Его внутреннее строение похоже на строение юпитерианских спутников. У Титана предполагается наличие твердого каменистого ядра и ледяной оболочки. АМС «Вояджер-1» прошел на расстоянии всего 7000 км от спутника. У Титана плотная красно-оранжевая атмосфера с облаками высотой около 200 км, через которую нельзя различить детали поверхности. Атмосфера Титана состоит на 85% из азота, на 12% из аргона, около 3% занимает метан, обнаружены также примеси кислорода, водорода, этана, пропана и других газов. Появились свидетельства о существовании кратковременных метановых облаков; возможно, на Титане идут метановые дожди.



- Существует вероятность, что под атмосферой находится метан-этановый океан глубиной в несколько километров. Спускаемый аппарат «Гюйгенс», который в ноябре 2004 года будет доставлен к Титану АМС «Кассини», оборудован двумя посадочными системами: для посадки на твердую поверхность и приводнения на предполагаемый океан спутника.

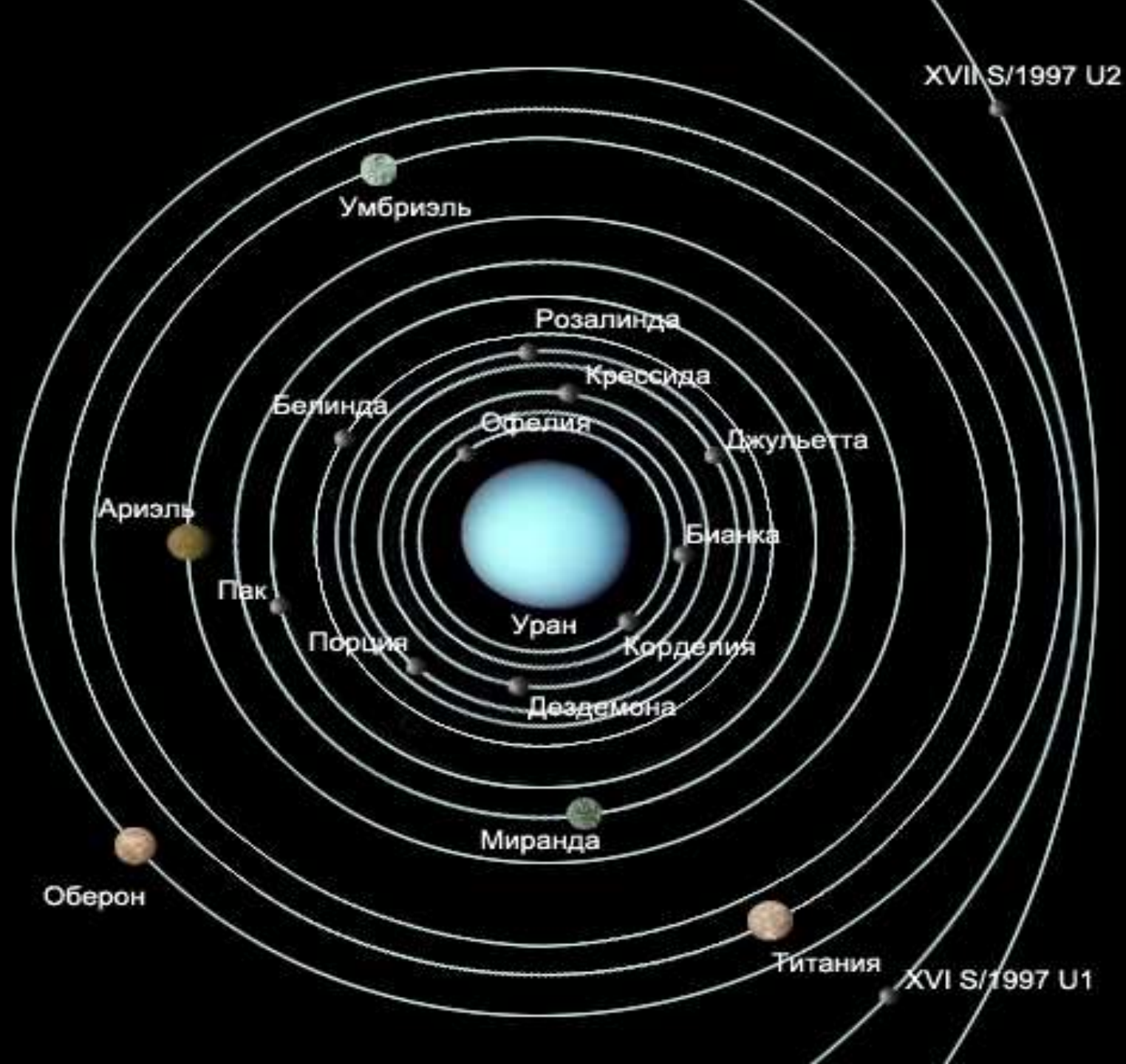


Давление на поверхности примерно в полтора раза больше, чем на Земле. Температура верхних слоев атмосферы составляет 150 К. Поверхность Титана холоднее, примерно 100 К. Метан играет важную роль в поддержании теплового режима атмосферы. Благодаря ему на Титане наблюдается нечто подобное земному парниковому эффекту, из-за чего атмосфера Титана имеет более высокую температуру. Солнечные лучи разрушают молекулы метана; без постоянного его пополнения весь атмосферный метан должен был бы разрушиться в течение 10 миллионов лет. Выдвигаются две гипотезы пополнения запасов метана: падение комет и наличие действующих вулканов. На поверхности этот газ может существовать во всех трех фазах, поэтому на Титане могут быть метановые океаны и реки.



Уран





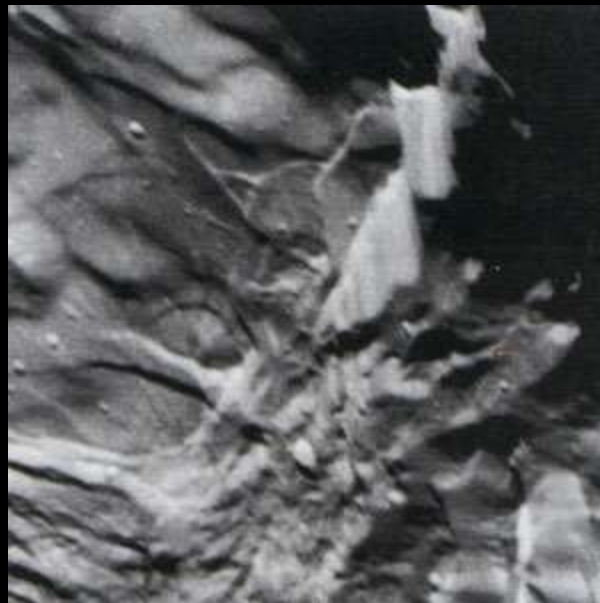
Несмотря на сложность наблюдений, астрономы прошлых веков открыли почти все крупные *спутники Урана*. Спутниковая система лежит в экваториальной плоскости планеты, то есть почти перпендикулярно к плоскости ее орбиты. Внутренние 10 лун – маленькие по размерам. Спутник 1986U₁₀, найденный по старым фотографиям, переданным с АМС «Вояджер-2» в 1986 году, пока не имеет собственного имени. Его, как и другие спутники Урана, назовут в честь героя какой-нибудь пьесы Шекспира

Спутники Урана *Оберон* и *Титания* очень похожи друг на друга. Их радиусы приблизительно вдвое меньше радиуса Луны. Поверхности обеих лун покрыты старыми метеоритными кратерами и сеткой тектонических разломов с признаками древнего вулканизма. Через все южное полушарие Оберона проходит широкая тектоническая долина, также доказывающая вулканическую деятельность в прошлом. Температура на поверхности спутников очень низкая, около 60 К.

Кольца Урана были случайно обнаружены в 1977 году во время покрытия Ураном яркой звезды. При этом звезда мигнула 9 раз до и 9 раз после того, как Уран ее полностью закрыл. Так были открыты девять плотных, узких и далеко отстоящих друг от друга темных колец Урана. Ширина их всего 1–10 км, только самое широкое внешнее кольцо имеет размер 96 км. Кольца Урана практически черные: альбедо равно 0,03. Они состоят из каменных частиц не крупнее нескольких метров в поперечнике. Каждое кольцо движется практически как единое целое. Проблема устойчивости колец Урана остается пока неразрешенной.



На поверхности Титании обнаружено огромное количество кратеров. Стены некоторых каньонов кажутся светлыми, так как покрыты льдом.

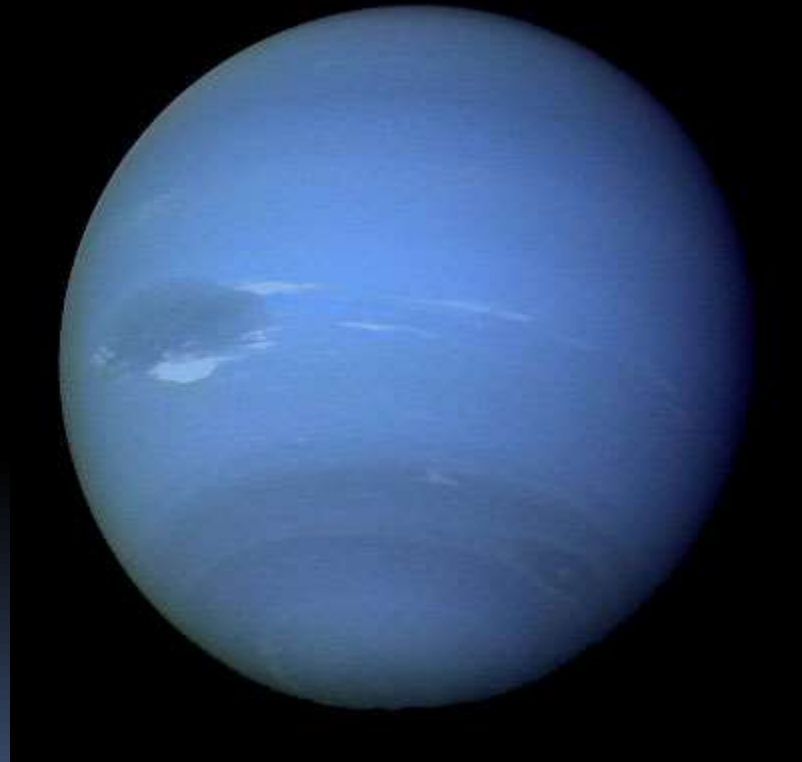


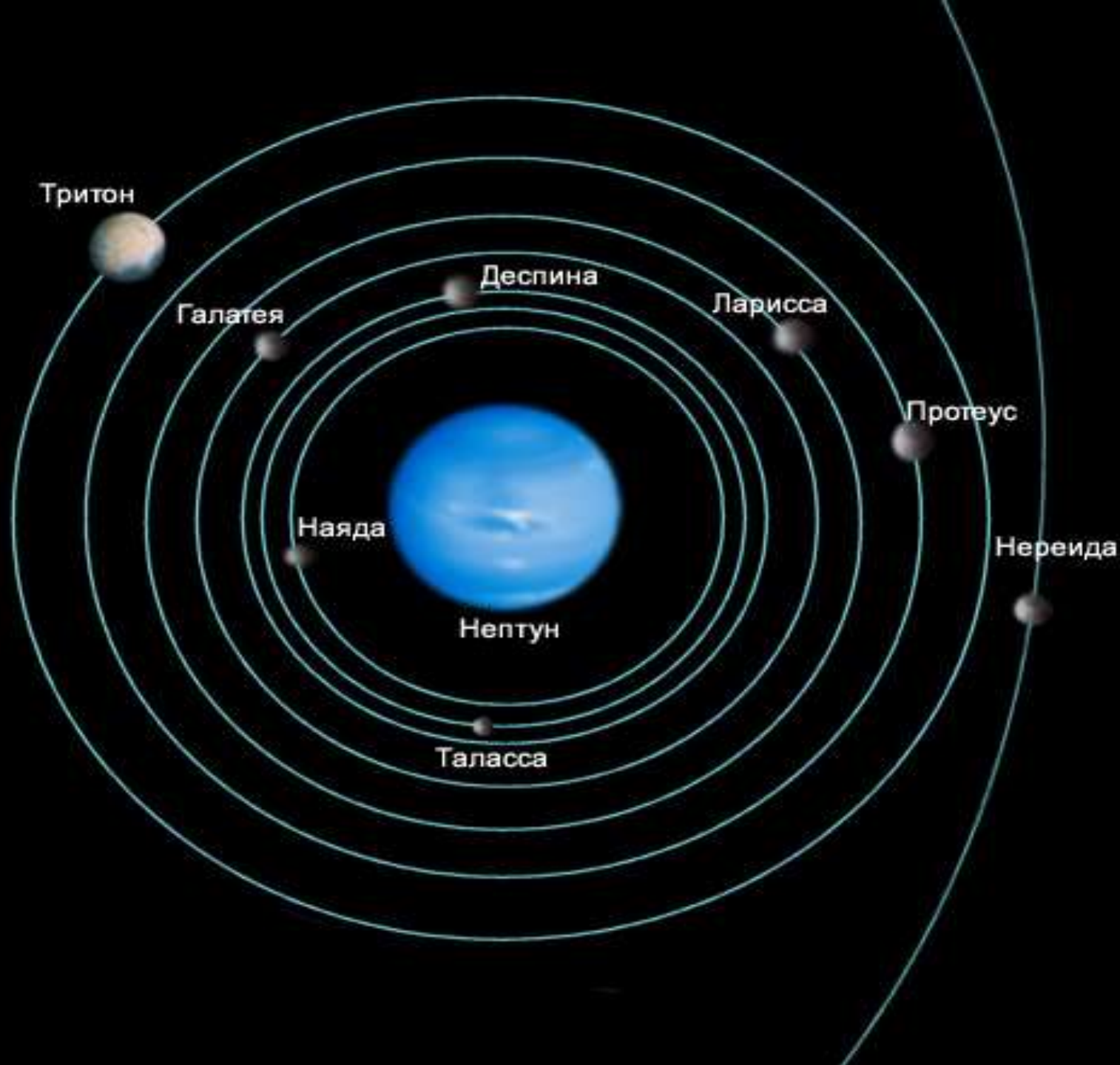
На маленькой Миранде обнаружены гигантские каньоны глубиной несколько километров.



Древняя ледяная поверхность Оберона изрыта кратерами

Нептун – восьмая планета от Солнца и четвертая по размеру среди планет.





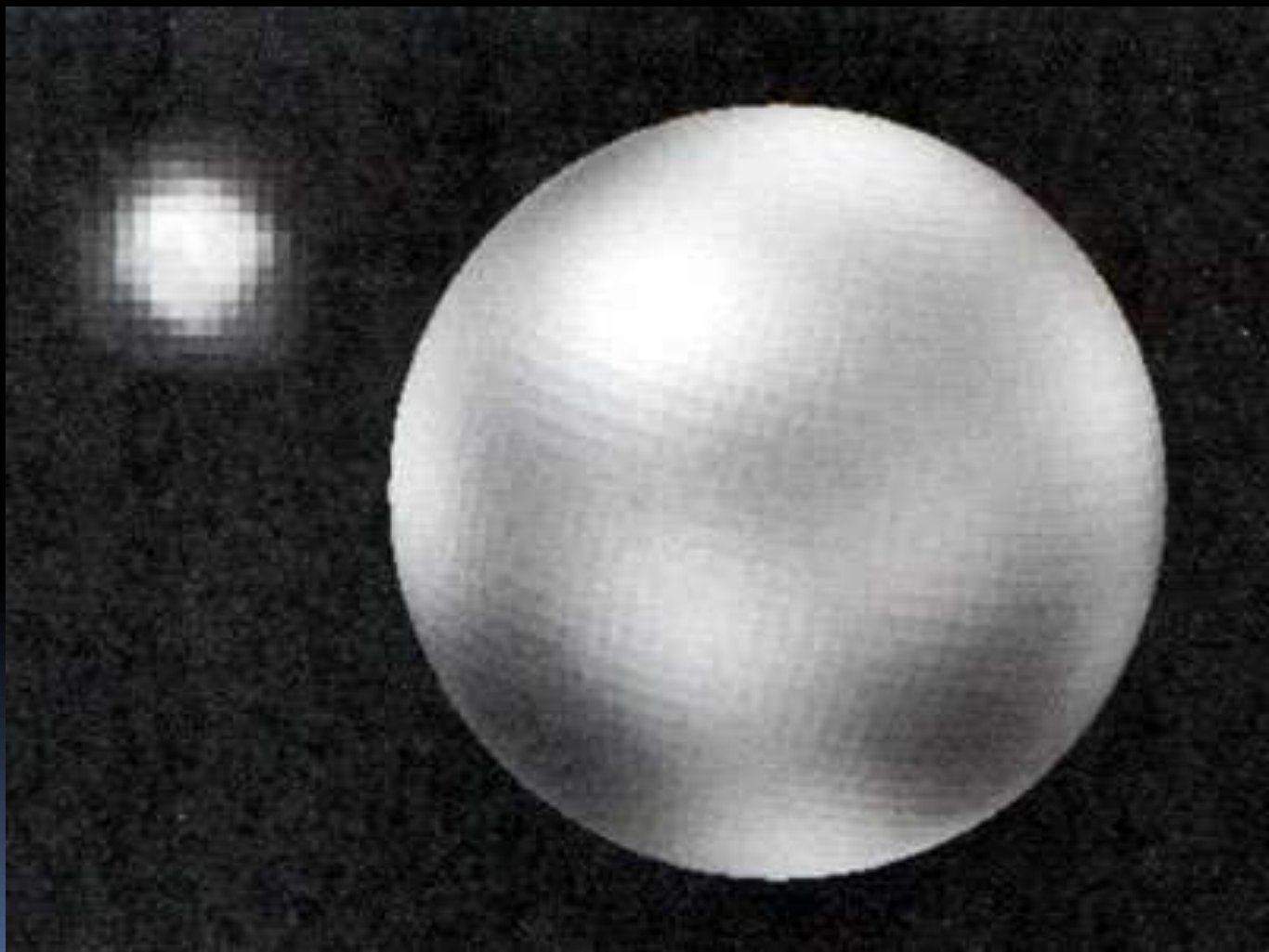
Спутник *Тритон*, открытый в 1846 году Уильямом Ласселлом, по размерам превосходит Луну. Обращение вокруг Нептуна обратное, поэтому ученые считают, что Тритон был захвачен Нептуном из пояса Койпера. В Тритоне сосредоточена почти вся масса спутниковой системы Нептуна. Отличается большой плотностью: 2 г/см³

На Тритоне обнаружены скалы, кратеры, темные полосы вулканического происхождения. «Вояджер-2» сделал снимки красного льда на Тритоне, на экваторе сфотографировал голубой лед из замерзшего метана. Южная полярная шапка состоит из азотного льда, из нее на высоту в несколько километров бьют гейзеры. Поверхность спутника светлая и отражает около 80 % падающих солнечных лучей. Тритон имеет разреженную азотную атмосферу (давление на поверхности около 10 мм рт. ст.). Температура на Тритоне -235°C .



Самый большой спутник Нептуна – Тритон.

Последняя планета Солнечной системы – *Плутон* – крошечная холодная планета, расположенная в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля



Еще несколько десятилетий спустя после открытия Плутона не было известно, что у него есть спутник. Он практически случайно был обнаружен в 1978 году. Работая с фотографическими изображениями планеты, астрономы заметили, что на снимках слабая звездочка, какой получается при фотографировании Плутон, выглядит слегка удлинённой. Это открытие астрономы несколько раз перепроверили и убедились, что у Плутона есть спутник. Он был назван *Хароном* – в честь легендарного перевозчика душ умерших в подземное царство Аида.

Харон находится на расстоянии 19 405 км от центра Плутона и движется по орбите, расположенной в экваториальной плоскости планеты. Он постоянно обращен к Плутону одной стороной, как и Луна к Земле. Но идеальность этой синхронно движущейся пары заключается в том, что и Плутон всегда повернут к Харону одним и тем же полушарием. Другими словами, периоды вращений обоих тел вокруг своих осей и орбитальный период Харона совпадают, он равен 6,4 суток. Может быть, и нашу планету ждет в далеком будущем такая же участь.

Диаметр Плутона 2390 километров, а его спутника – 1186 километров. Поистине уникальная пара! Нигде больше в Солнечной системе не встречается такого, чтобы планета была всего лишь вдвое больше своего спутника. Вполне справедливо Плутон называют двойной планетой.

Спутник Харон имеет примерно такую же плотность, как и спутники Сатурна. О его природе (как и о природе Плутона) нельзя сказать почти ничего, кроме того, что по цвету Харон несколько голубее, чем Плутон. Это может означать, что они образовались не из единого облака, а уже потом были как-то сведены вместе неведомыми нам обстоятельствами.

Исследования отдаленных областей нашей Солнечной системы возможны только из космоса. Достаточно сказать, что даже в самые сильные телескопы с Земли невозможно увидеть Харон и Плутон раздельно.