

Спутники планет и ледяные тела Солнечной системы

О.Л. Кусков

Институт геохимии и аналитической химии

им. В.И. Вернадского

Российская академия наук, Москва

29 ноября 2014

**«Выводы геологии не менее важны
для планетной астрономии, чем
выводы этой последней для
геологии»**

В.И. Вернадский

**Избранные труды по истории науки,
1981**

Солнечная система

Планеты земной группы:

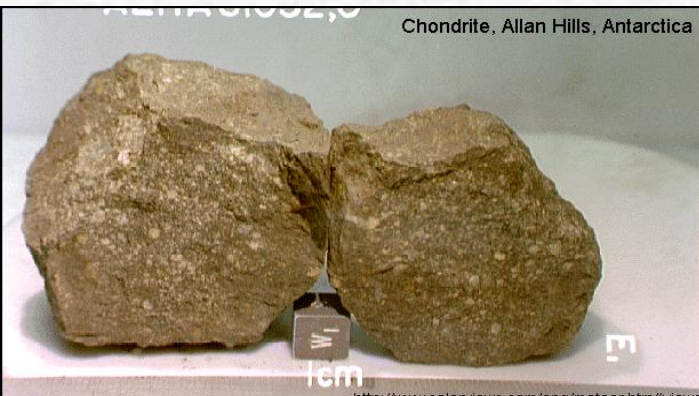
**Меркурий, Венера, система Земля-Луна,
Марс**

**Малые тела: Астероиды, кометы,
метеориты**

**Внешние планеты-гиганты – Уран, Нептун,
Юпитер, Сатурн и их спутники**

**Транснептуновые объекты/пояс Койпера /
облако Оорта, кометы - 50000 а.е. от Солнца**

Метеориты – камни, падающие с неба



Камни с неба падать не могут, ибо тверди небесной не существует!
(Парижская Академия Наук о, 1772 г)

**Метеориты - обломки
родительских тел из пояса
астероидов.**



Железные => ядра планет (Вихерт, Олдхэм).

Каменные метеориты - хондриты обыкновенные и углистые, образованы в протопланетном облаке ~4.5 млрд лет назад.

По составу близки к ультраосновным породам м мантии Земли.



Кратер Meteor (D = 1.2 km), Аризона

Планеты Солнечной системы



Луна - первый объект планетных космических исследований



Первый снимок Земли над горизонтом Луны, КА «Лунар Орбитер»

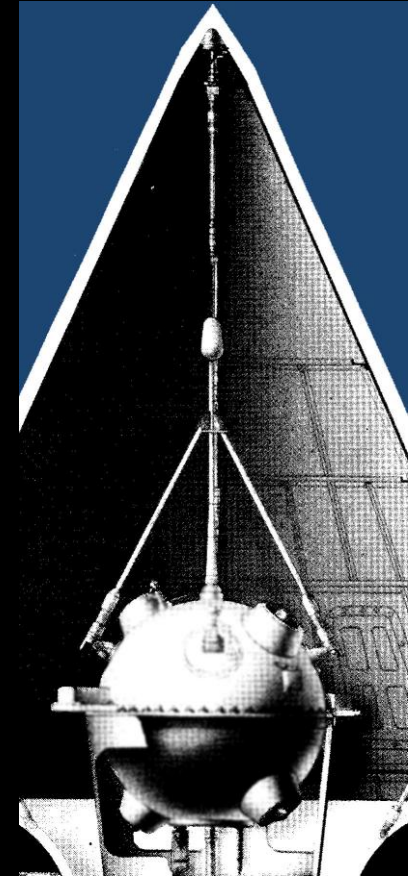
Начало космической эры: Спутник и первые полеты к Луне



Спутник
4 октября 1957 г.

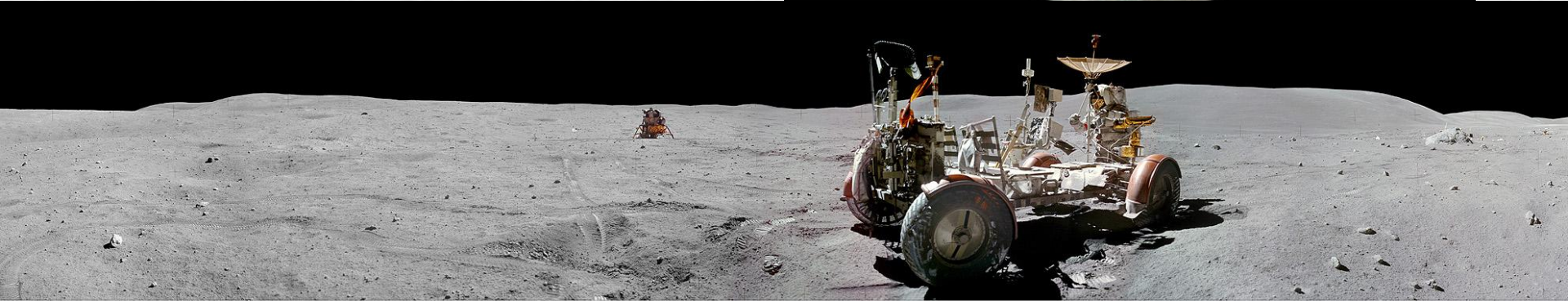
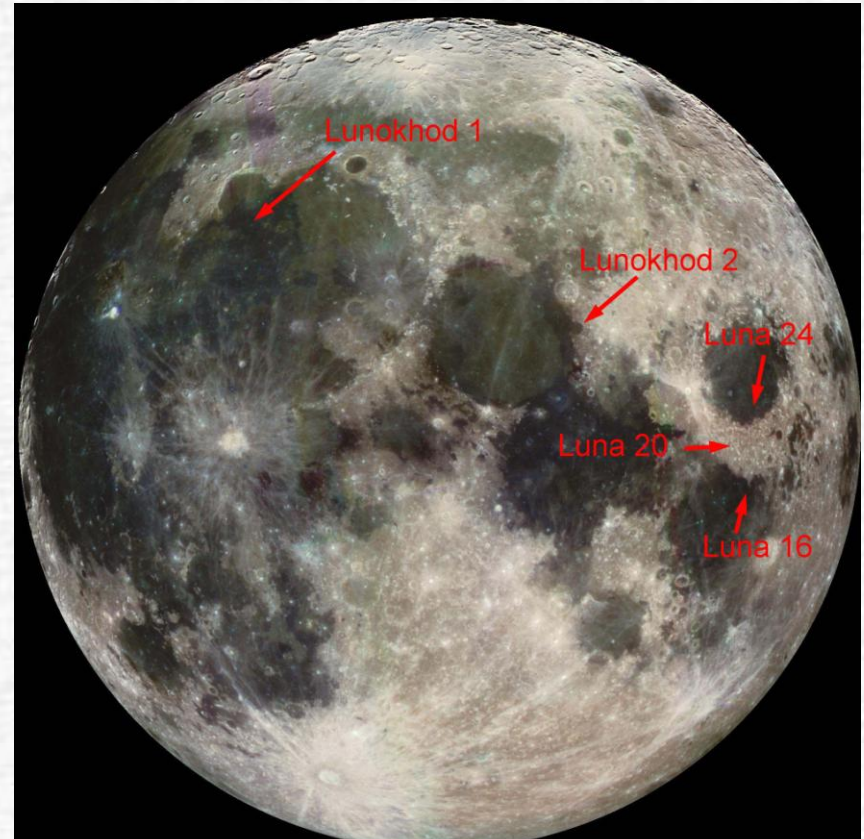
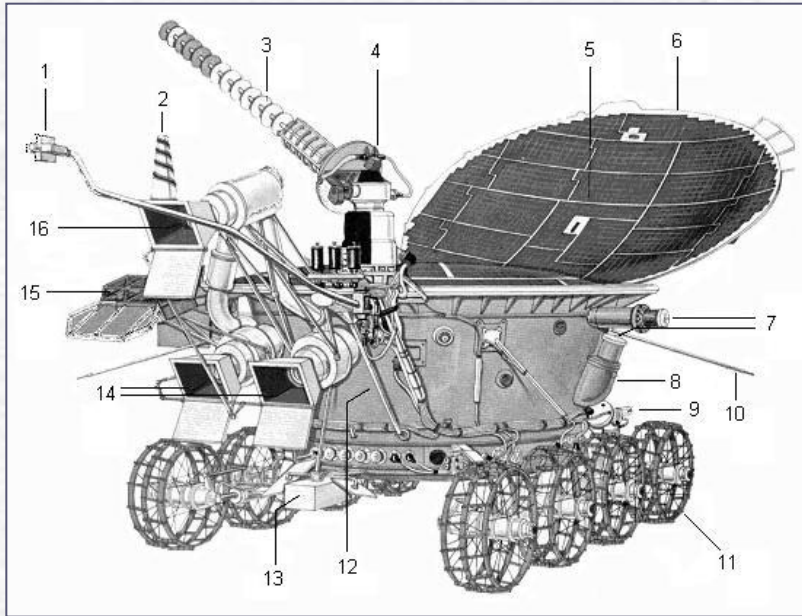


Сергей Королев
советский
ракетный инженер
1906-1966 г.г.

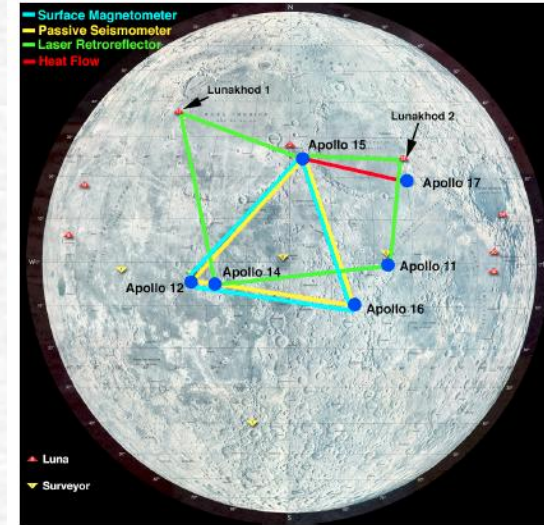
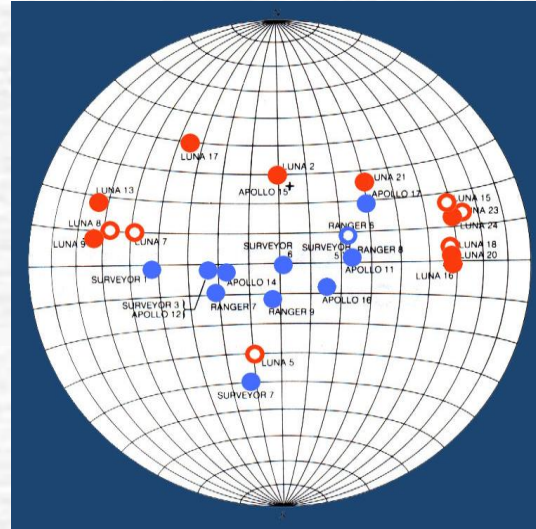


Луна 1
2 января 1959 г.

Космические исследования Луны в XX веке



Космические исследования Луны в XX веке

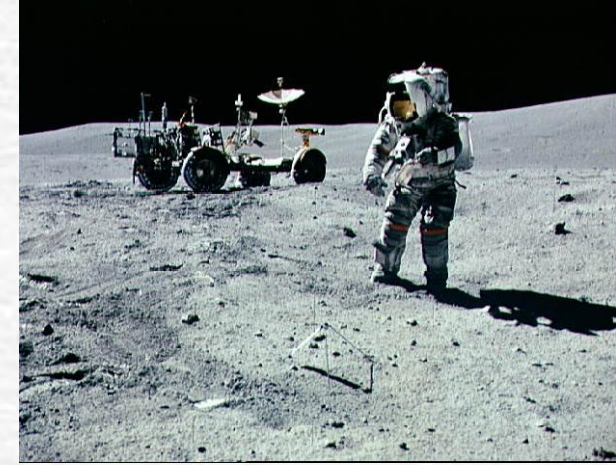
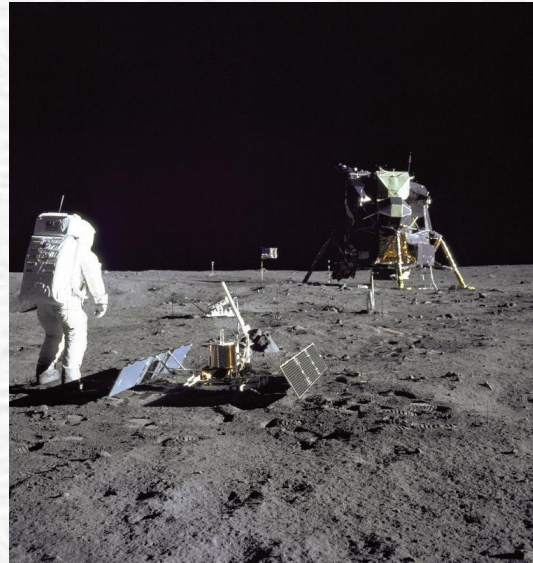


экипажами КА Аполлон-12, 14, 15, 16
была установлена сейсмическая сеть из
четырёх станций



**Harrison Schmitt –
первый геолог на
Луне**

Проблема посадки

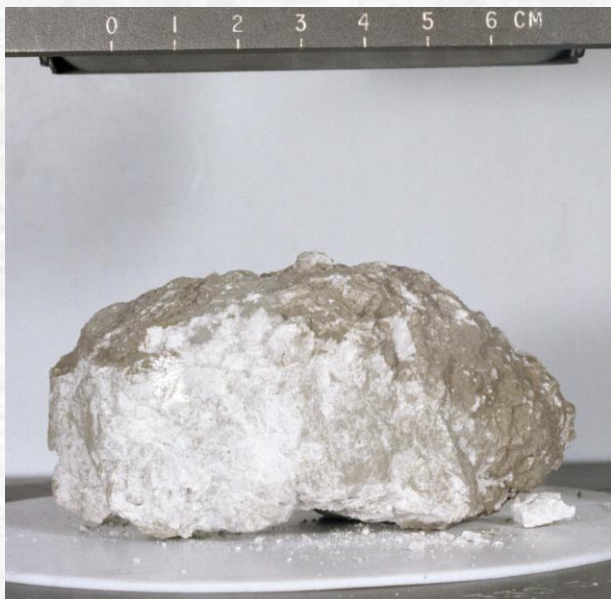


Экспедиции Аполло на Луну: 1968-1972

Отпечаток подошвы ботинка астронавта Э.Олдрина

С.П.Королев и дебаты о пылевой или твердой поверхности - Сесть и не утонуть в пыли

Луна: геолого-геохимическая специфика

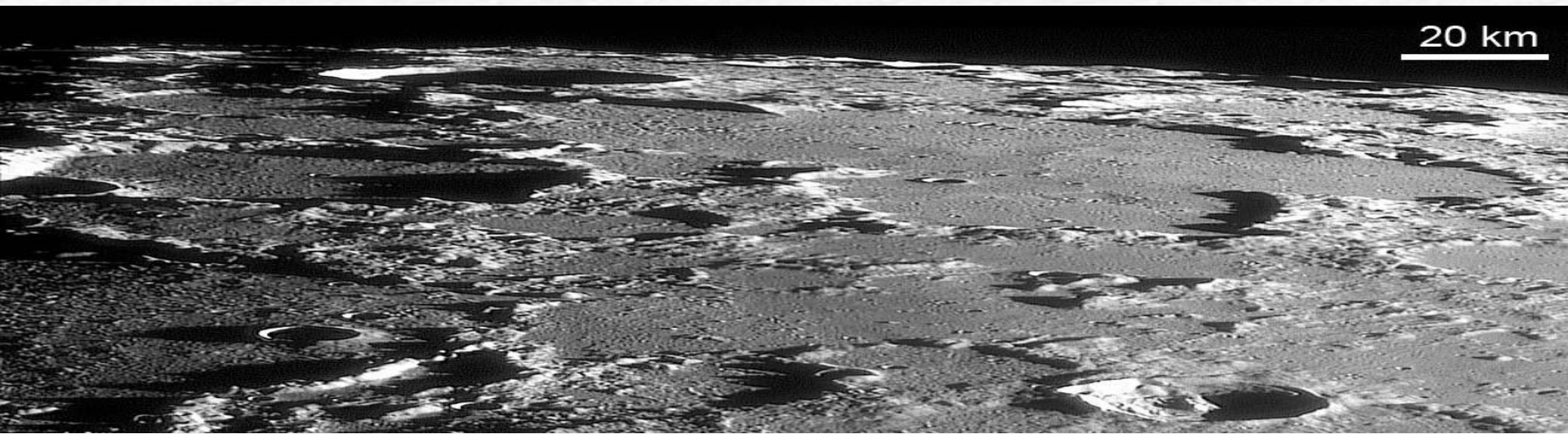


Породы - Анортозит-норит-троктолитовые (АНТ) брекчи на материках, базальты в лунных морях

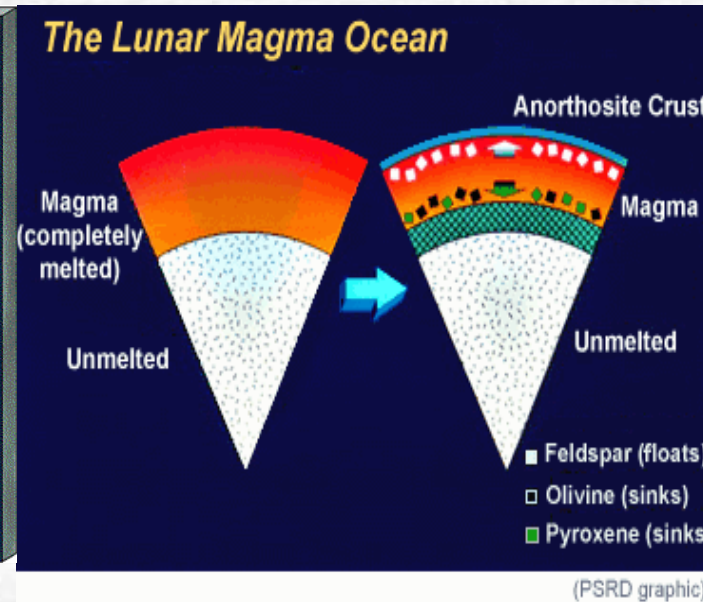
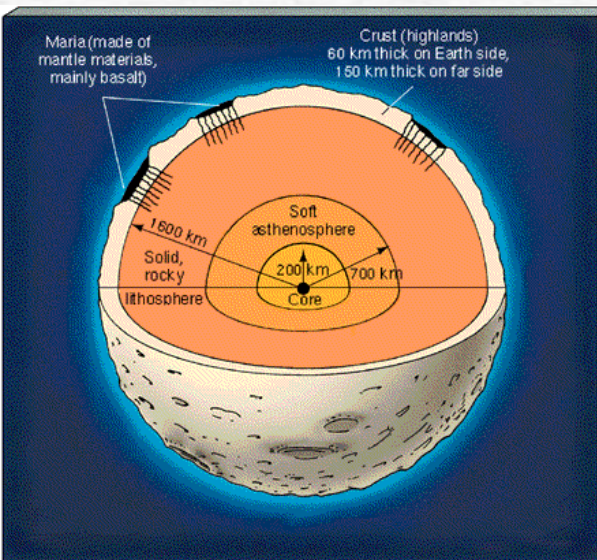
Минеральный состав - Плаггиоклазы (высоко-Са), Оливины, Пироксены,

Практическое отсутствие летучих H_2O , CO_2 /но LCROSS (USA) – есть лед / нашли следы воды в лунных образцах

Южный полюс Луны – в морфологии поверхности Луны доминируют кратеры



Состав и внутреннее строение Луны



магматический океан

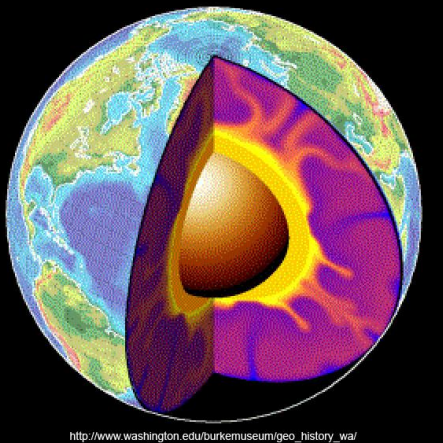
Кора / двух-трехслойная мантия / ядро.

Обедненность летучими (K, Na и др.)

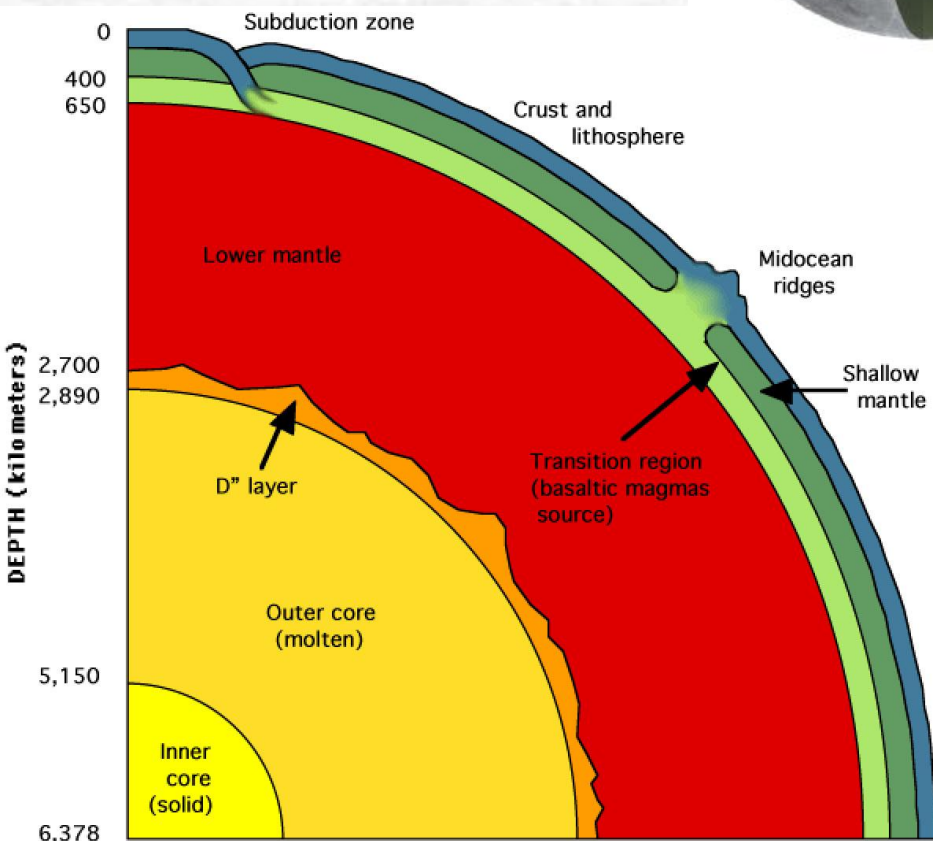
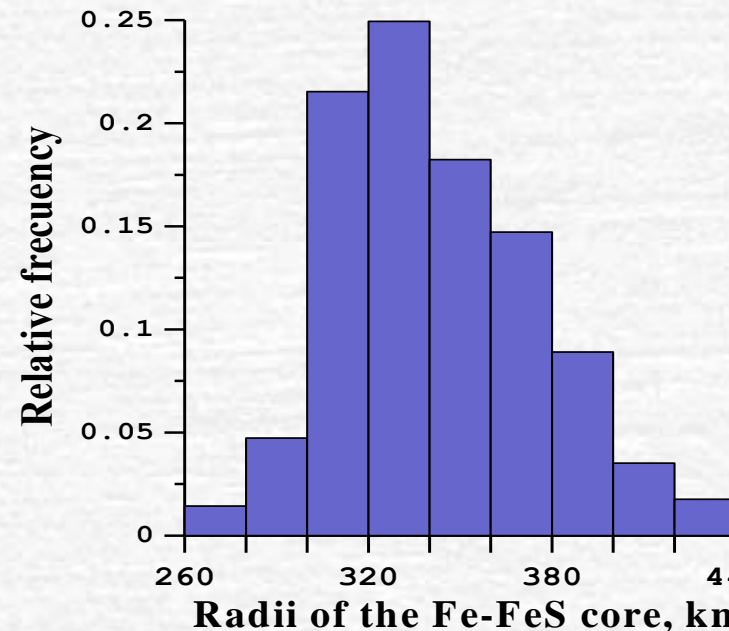
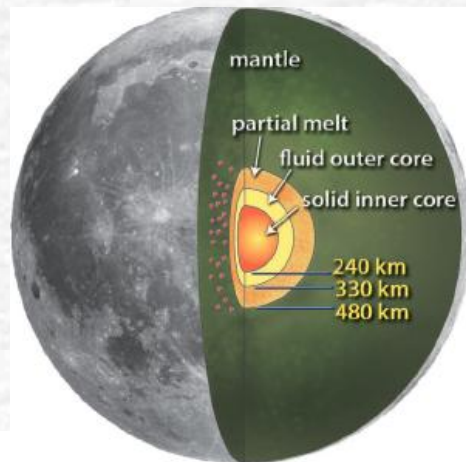
Обедненность сидерофилами (Pt, Ir) – ушли в ядро? Но размеры ядра малы.

Обедненность Луны Fe-металлом (~10%)

Внутреннее строение Земли и Луны



http://www.washington.edu/burkemuseum/geo_history_wa/



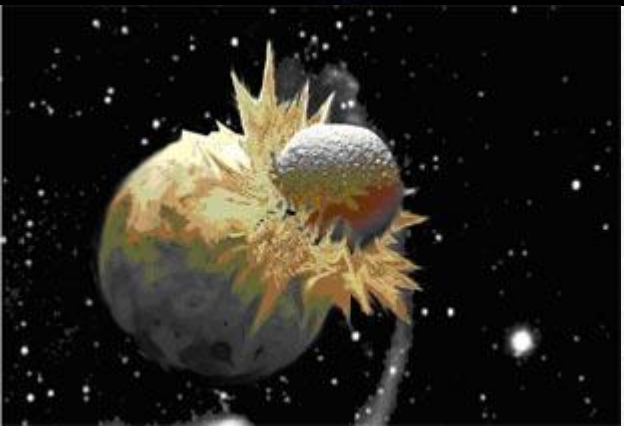
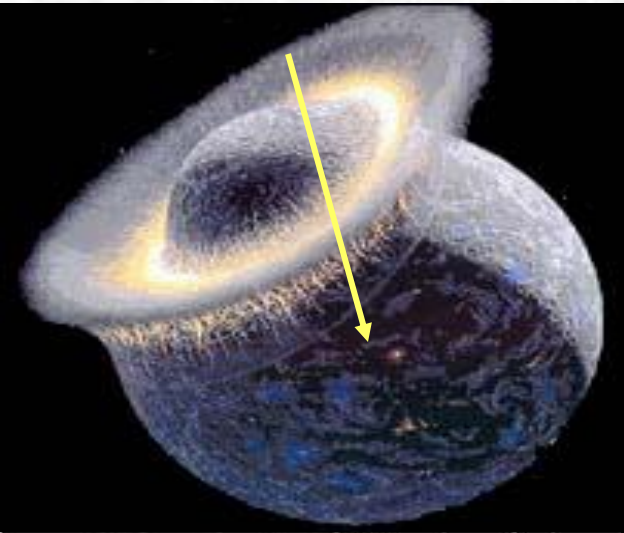
http://www.math.montana.edu/~nmp/materials/ess/geosphere/expert/activities/planet_earth/

**Масса ядра Луны $\sim 2-3\%$,
 $R \sim 300-400$ км, T (ядро-
мантия) ~ 1600 С**

**Масса ядра Земли $\sim 30\%$, R
 ~ 3500 км, T (ядро-мантия)
 ~ 4000 С**

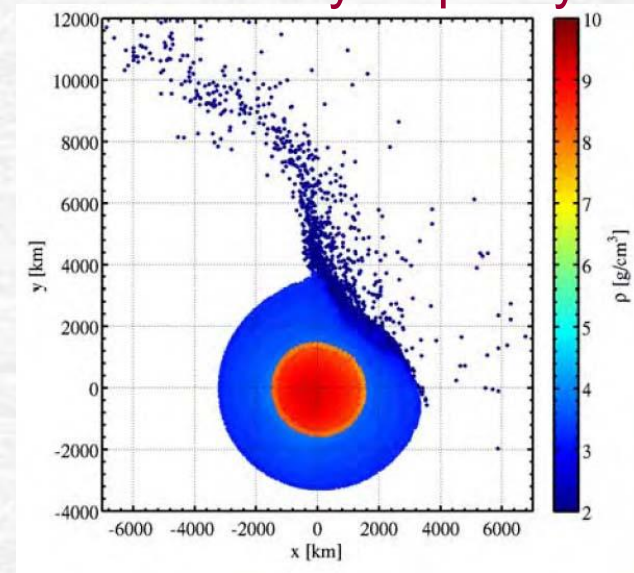
Происхождение Луны: Гипотеза мегаимпакта

Тело размером с Марс



Прото-Земля

Луна образовалась в результате аккреции выбросов от удара на околоземную орбиту

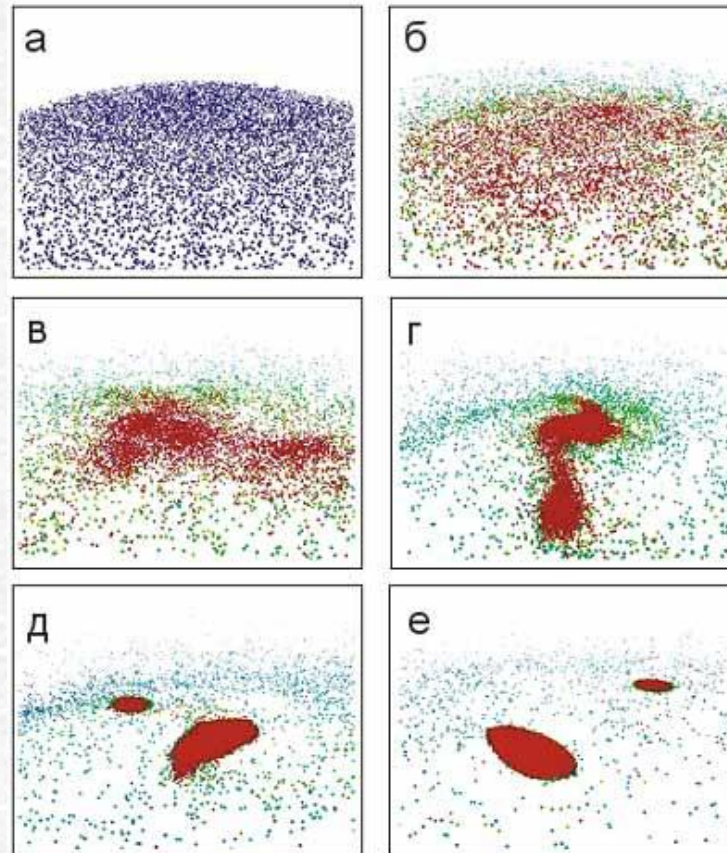


Столкновение Земли с небесным телом размером с Марс, в результате которого произошел выброс расплавленного вещества, образовавшего Луну (гипотеза мегаимпакта).

Происхождение Земли и Луны как двойной системы



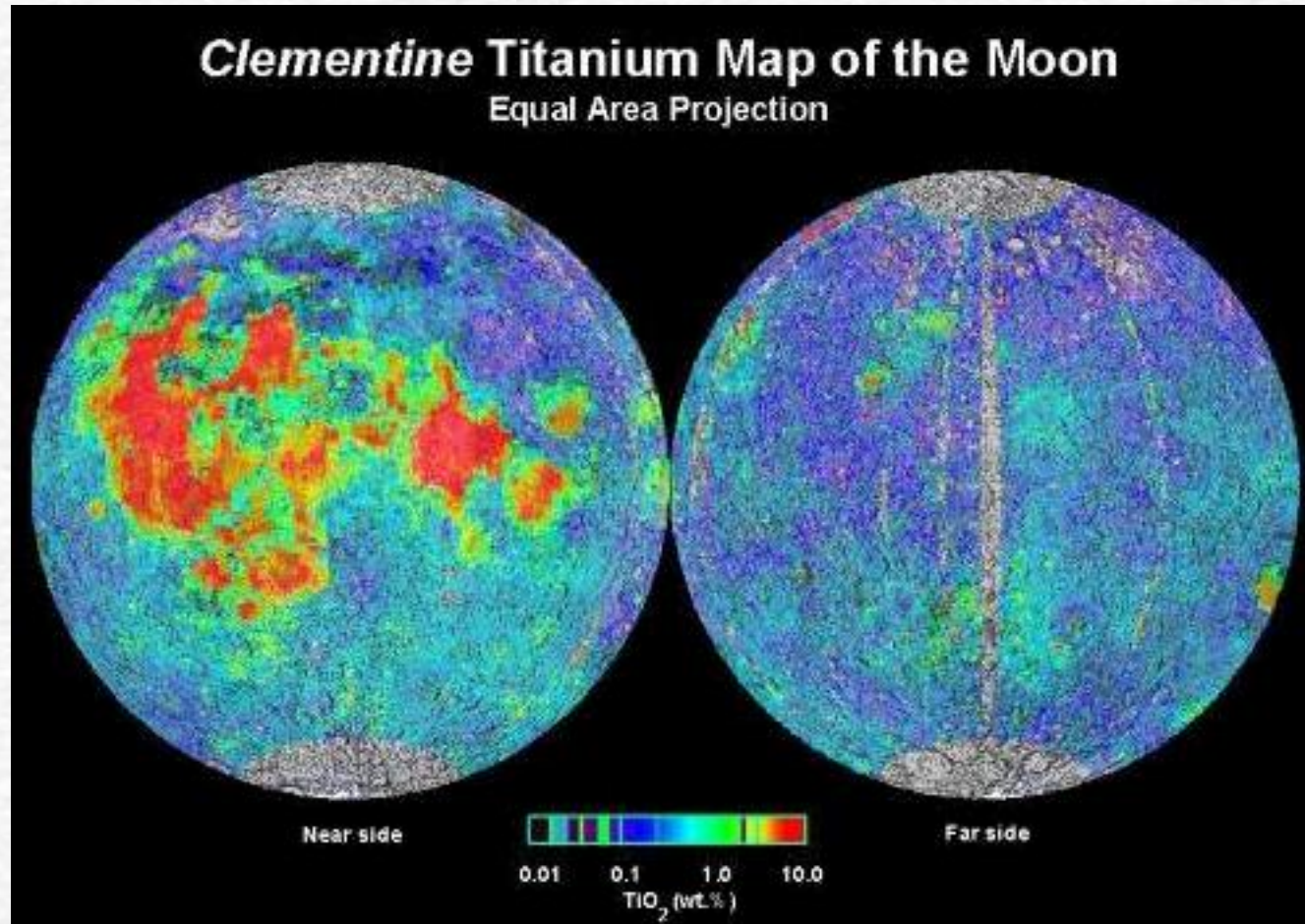
Э.М. Галимов



модель коллапса облака испаряющихся частиц. Показаны последовательные фазы фрагментации облака (а – г) и образования двойной системы (д – е).

Лунные ресурсы

Запасы гелия-3 на Луне



Максимальные содержания He-3 найдены в образцах реголита, сформировавшегося на высоко Ti базальтах

Космические исследования Луны в XXI веке



**Lunar Reconnaissance
Orbiter, LCROSS (USA)**

Chandrayaan, India

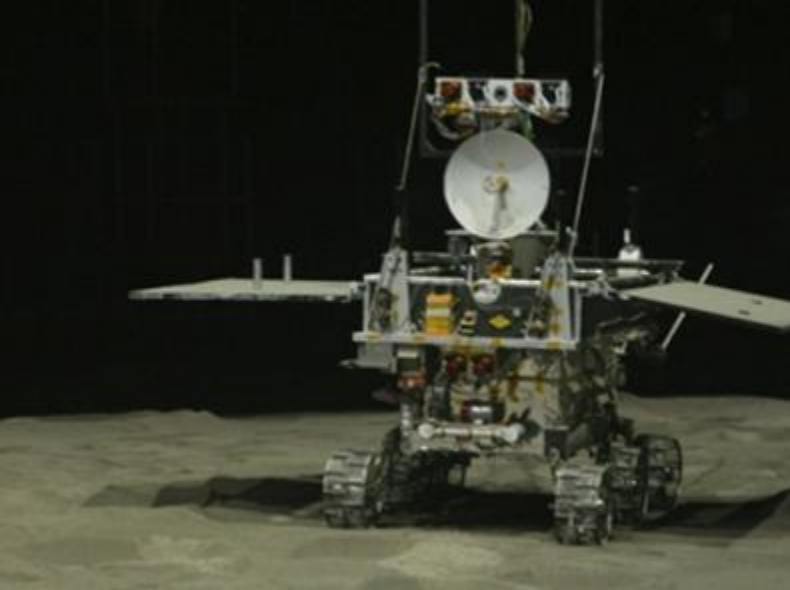
Kaguya, Japan

Chang-e, China

Луна-Ресурс, Россия-Индия

Луна-Глоб, Россия

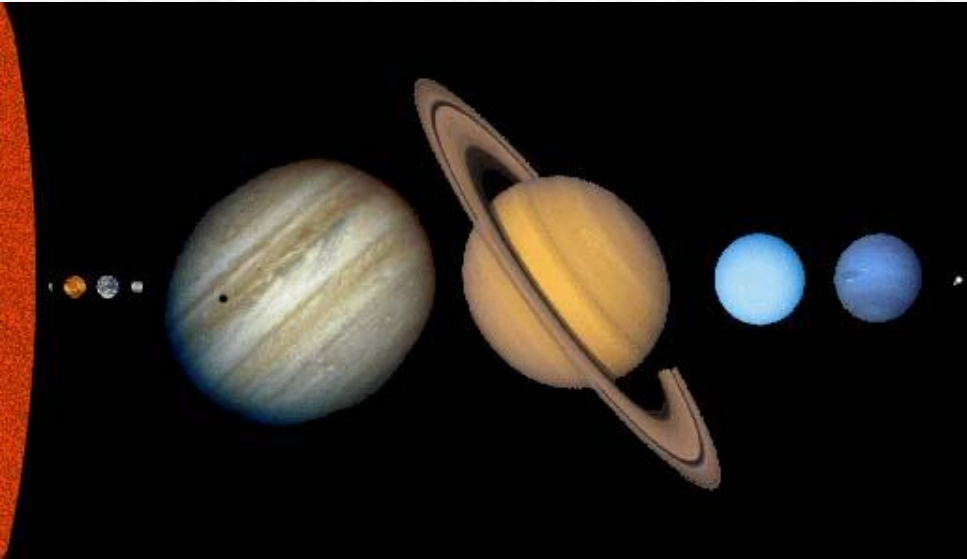
Китайский луноход - "Юйту" "Нефритовый заяц"



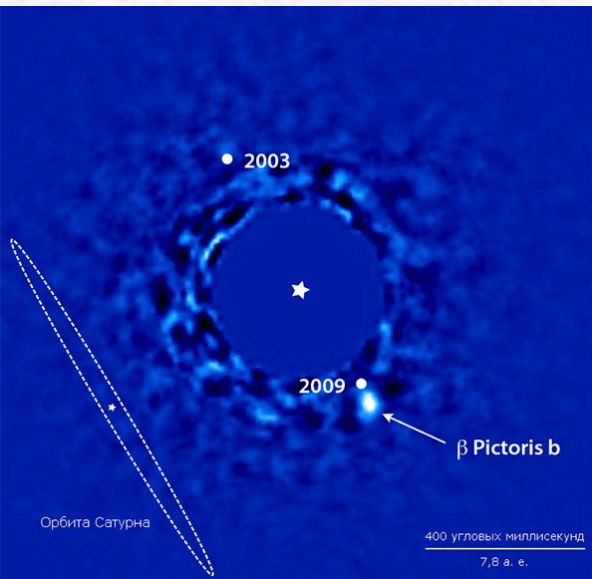
☞ **Chang-e, China**

Чанъэ-3 состоит из двух частей – аппарата прилунения и первого китайского лунохода, который назвали "Юйту" ("Нефритовый заяц"). Его масса 100 кг, он работает на солнечных батареях и оснащен специальными камерами, а также радиолокатором, который позволяет изучить структуру грунта до глубины около 30 метров и коры Луны до отметки в несколько сотен метров

Космическая одиссея XX/XXI в.



Обнаружено более **150** спутников

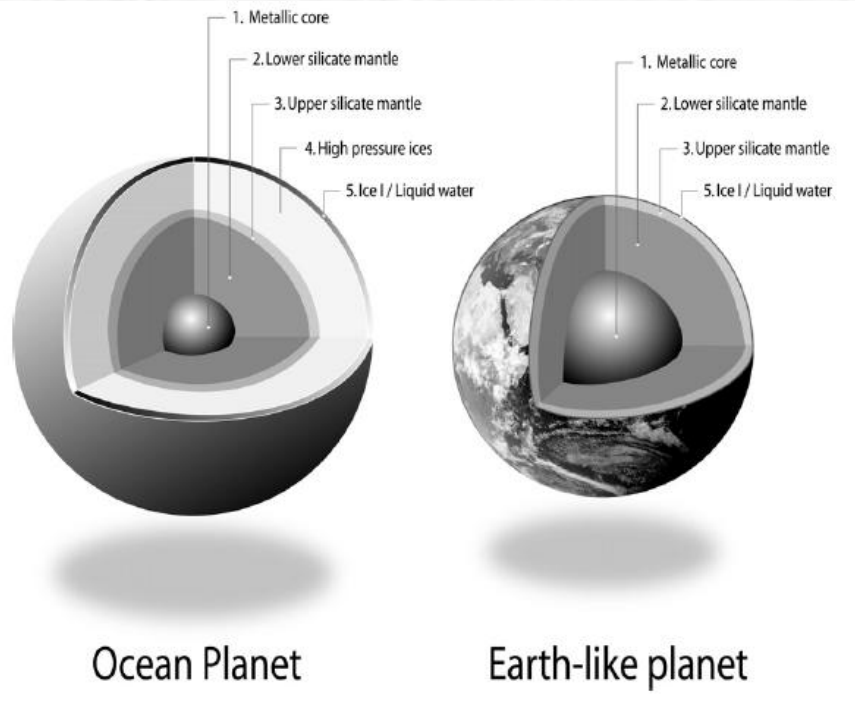


Исследование планет земной группы и Луны – КА Луна, Apollo и др

Активное изучение внешних областей Солнечной системы - Pioneer, Voyager, Galileo, Cassini-Huygens – ледяные миры планет-гигантов, Пояса Койпера, облака Оорта, где водяной лед – главная составляющая космического вещества

К 2014 известно/открыто более 1000 экзопланет в 500 планетных системах

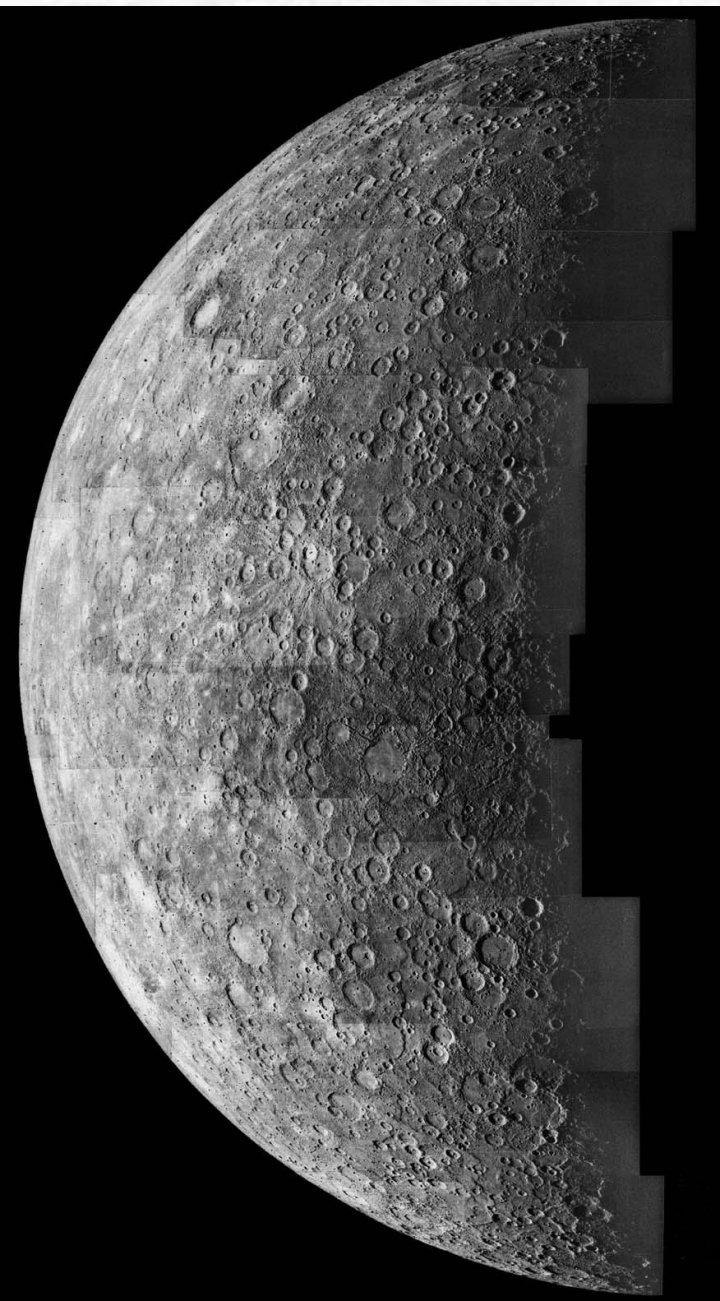
Планета у звезды b-Живописца



**Меркурий, Венера,
Земля, Луна,
Марс**
**Луна, Ио – безводные
тела**

Ледяные тела: крупные спутники - Европа, Ганимед, Каллисто, Титан, Плутон - карликовая планета, он же объект пояса Койпера, малые спутники - Энцелад, Яфет и др., Транснептуновые объекты

Меркурий - спутников нет



Самая близкая к Солнцу планета

$D = 4878 \text{ км} = 0.38 D \text{ Земли}$

$M = 0.055 M \text{ Земли}$

Средняя плотность $\rho = 5.44 \text{ г/см}^3$

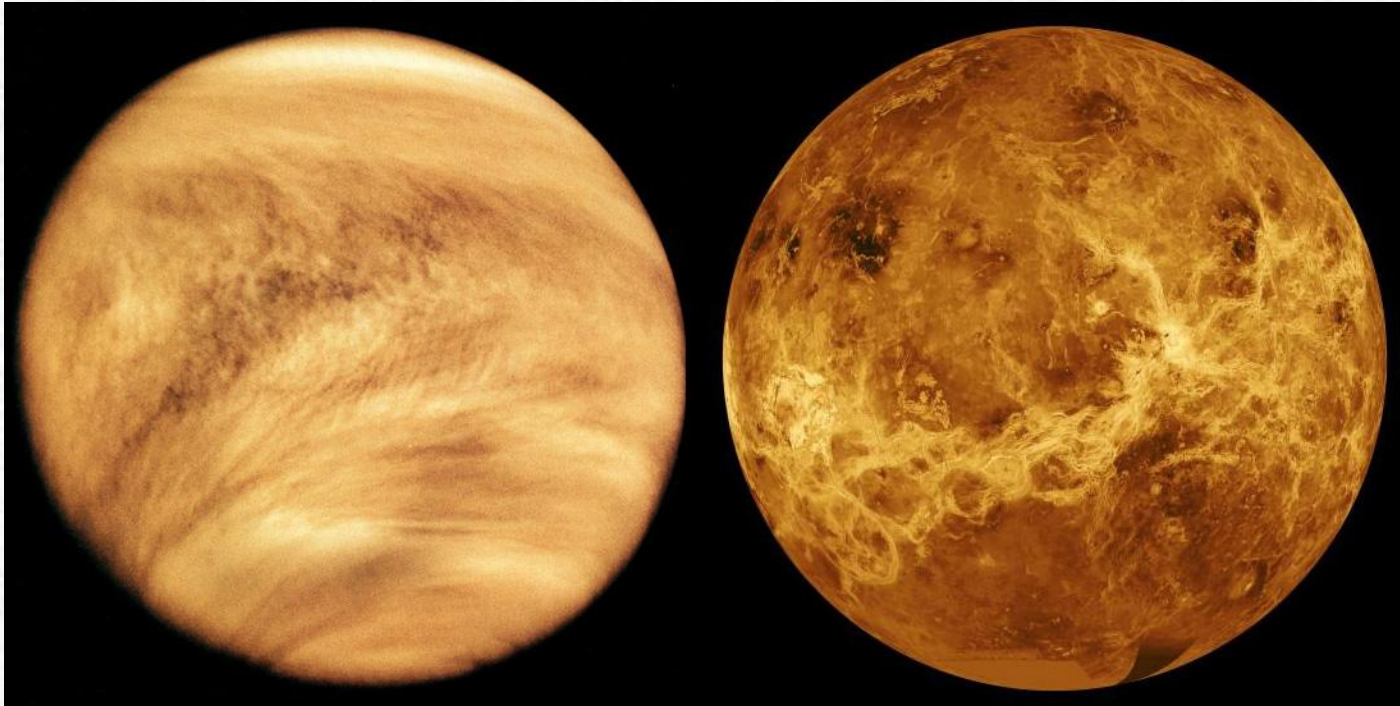
($\rho \text{ Земли} = 5.52 \text{ г/см}^3$)

Меркурий - внешне во многом схож с

Луной, но обладает очень большим

железным ядром $\sim 80\%$ его массы.

Венера - спутников нет

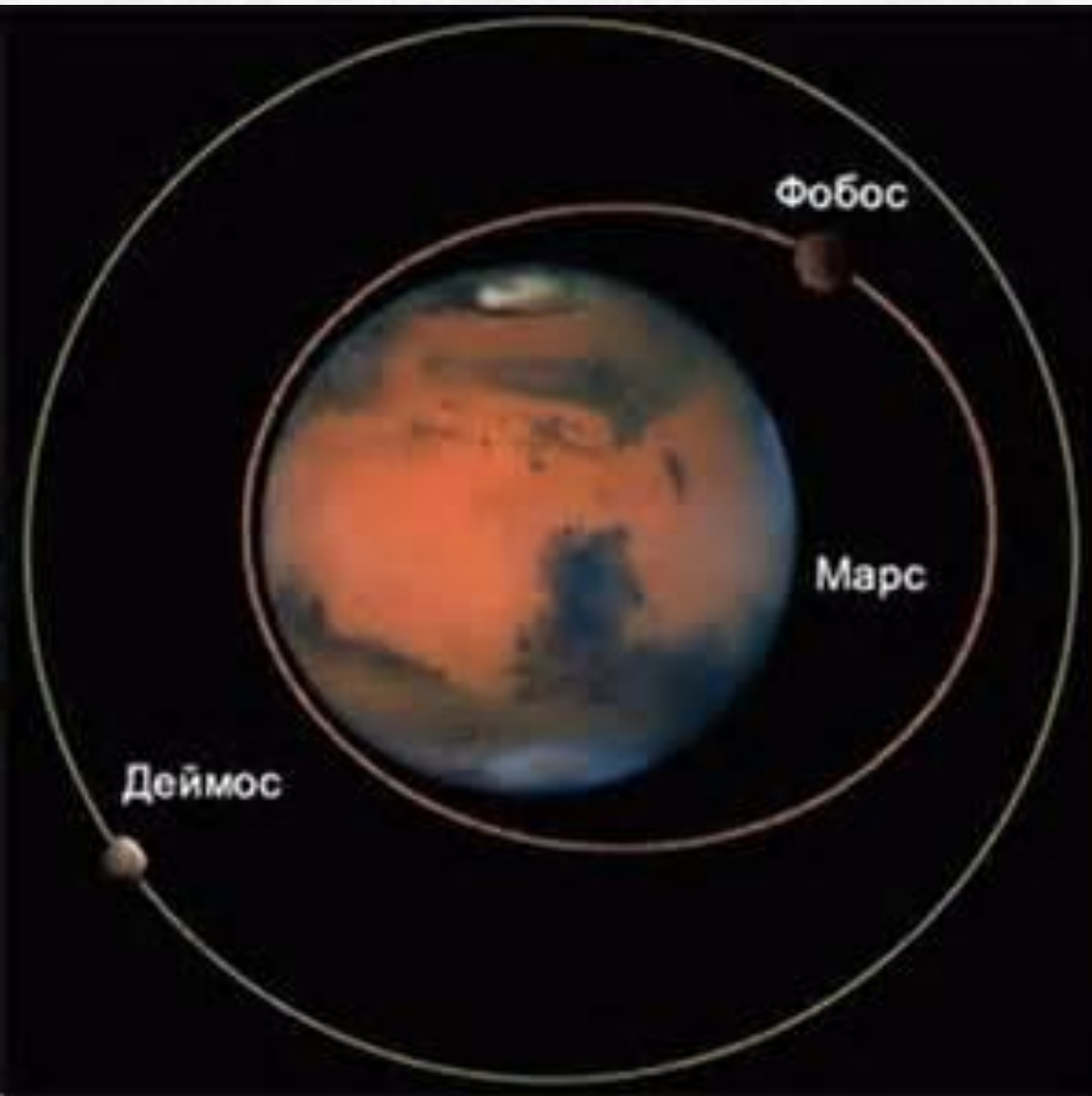


Венера, изображение в УФ
Снимок Pioneer Venus,
видны облака

Венера, монтаж радарных
изображений КА Magellan,
видна поверхность

Первые прямые измерения в атмосфере Венеры выполнил в 1967 г. аппарат «Венера-4». Венера обладает плотной и горячей атмосферой. Температура на поверхности 475 С. Атмосфера практически целиком состоит из углекислого газа.

Марс

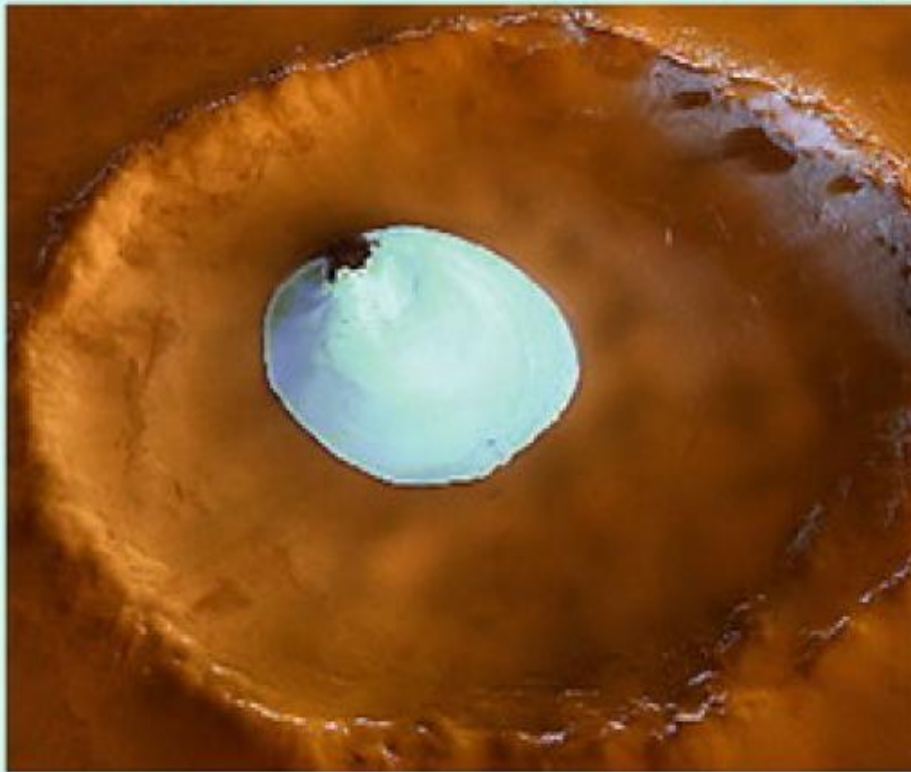


Деймос



Фобос
Видны кратеры

Ледяное озеро внутри марсианского кратера (Снимок "Mars Express")



На сенсационном снимке, сделанном европейским спутником «Марс-Экспресс», видно ледяное озеро внутри кратера. Спектральные измерения подтвердили, что это лёд.

Вода была найдена в марсианских породах и измерена КА «Феникс» в месте его посадки.

Планеты-гиганты - это газово-жидкие тела, твердой поверхности у них нет

Решающую роль в изучении Солнечной системы сыграли пролёты около всех планет-гигантов на достаточно близком расстоянии двух американских аппаратов «Вояджер», запущенных в середине 1970-х годов и до сих пор передающих научную информацию, находясь на границе гелиосферы – гелиопаузы (это область, где солнечный ветер натекает на межзвёздный газ и создается ударная волна).

Радиосигналы с «Вояджеров», вероятно, можно будет принимать до 2015 г. В изучение Юпитера и Сатурна большой вклад внесли также запущенные позднее аппараты «Галилей» и «Кассини-Гюйгенс», орбитальные блоки которых продолжают передавать научные данные.

Системы Юпитера и Сатурна - обнаружено более 120 спутников, из них 5 крупных - все спутники состоят из скальных пород и льдов

Что известно о строении крупных спутников?

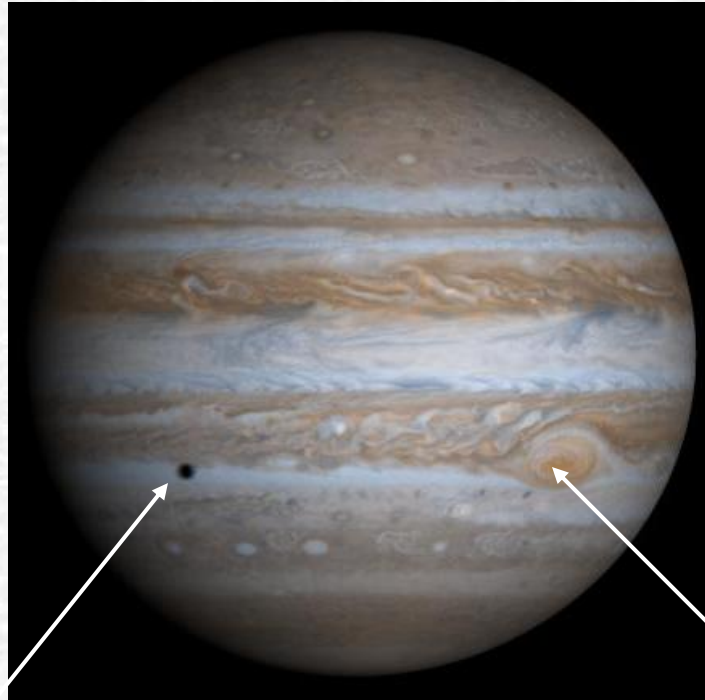
Масса, радиус, средняя плотность, момент инерции, гравитационные, тепловые и магнитные поля, спектральные данные, морфология поверхности и кратеры.

Что можно узнать о строении крупных спутников?

- (1) степень дифференциации спутников на оболочки – ледяная кора, силикатная кора, мантия, ядро**
- (2) мощность и агрегатное состояние водно-ледяных оболочек -наличие океанов**
- (3) существование металлических / железо-сульфидных ядер, их масса и размеры**

ЮПИТЕР - Расстояние от Солнца 5.2 а.е., $D = 143000$ км – 11 диаметров Земли, $M = 318$ масс Земли, плотность 1.33 г/см³
Внешняя оболочка: H_2 , He

Тень
Каллисто



Большое
Красное
Пятно —
гигантский
долгоживущий
вихрь, диаметр
которого
превышает
диаметр Земли.

В центре Юпитера давление ~ 40 млн бар, $T \sim 15000$ К.
Вращение тяжелой горячей жидкости => сильное магнитное поле, железо-силикатное ядро (несколько масс Земли).

Фрагменты кометы Шумейкеров-Леви-9



Снимок телескопа Хаббла

Столкновение фрагментов
кометы с Юпитером

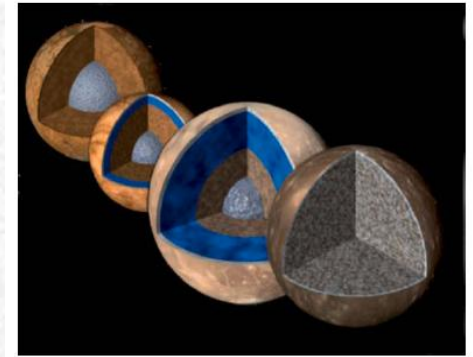
1024x1024 Near-Infrared Camera
University of Hawaii 2.2-meter telescope

Галилео Галилей обнаружил спутники Юпитера, 1610 г.

Система Юпитера – миниатюрная Солнечная система, известно более 60 спутников. Четыре самых больших - Галилеевы спутники



Галилео Галилей



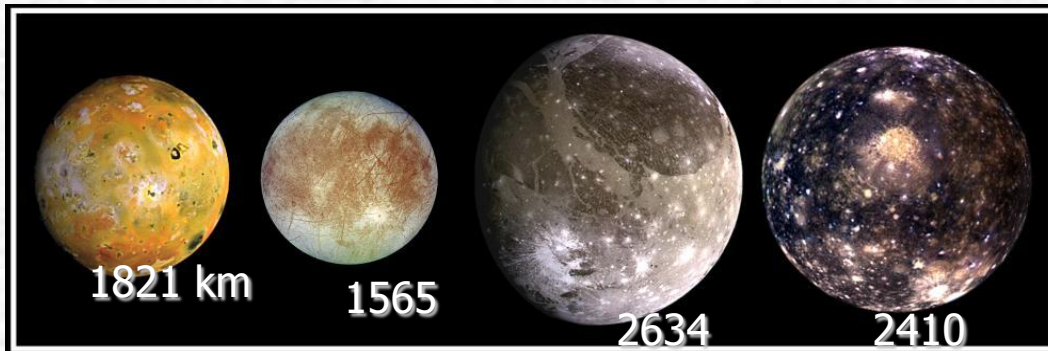
**Из всех спутников
наиболее
интересными после
Луны являются
спутники Юпитера**

Пьер Лаплас

(Изложение системы мира)

**В 1614 году предложили для
Галилеевых спутников
названия по именам
мифологических персонажей**

Галилеевы спутники Юпитера



Плотности уменьшаются с расстоянием от Юпитера: от 3.53 г/см³ для Ио до 1.9 г/см³ для Ганимеда и Каллисто, что указывает на более **высокое содержание льда H₂O** в составе внешних ледяных спутников



**Galileo orbiter,
1995-2003**

Фактические данные КА Galileo
Уникальные сведения привели к целому ряду сенсационных сообщений о тектонической, вулканической и криовулканической активности спутников, наличии магнитных полей, океанов на ледяных спутниках.

Галилеевы спутники Юпитера



Ио -
сухой
Расст.
от
Юпитера

5.9

Европа

9.4

Ганимед

15

Каллисто

26 R

Водно-ледяные спутники

Расстояние Луны от Земли 384000 км ~ 60 R Земли

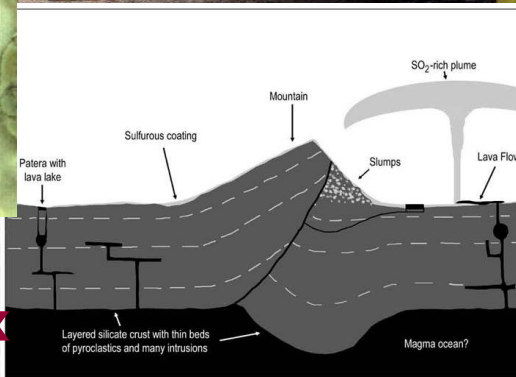
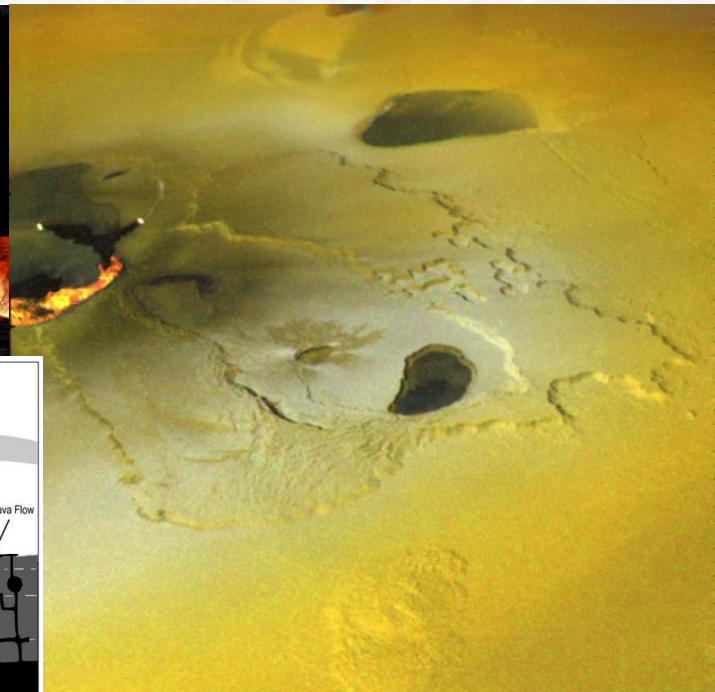
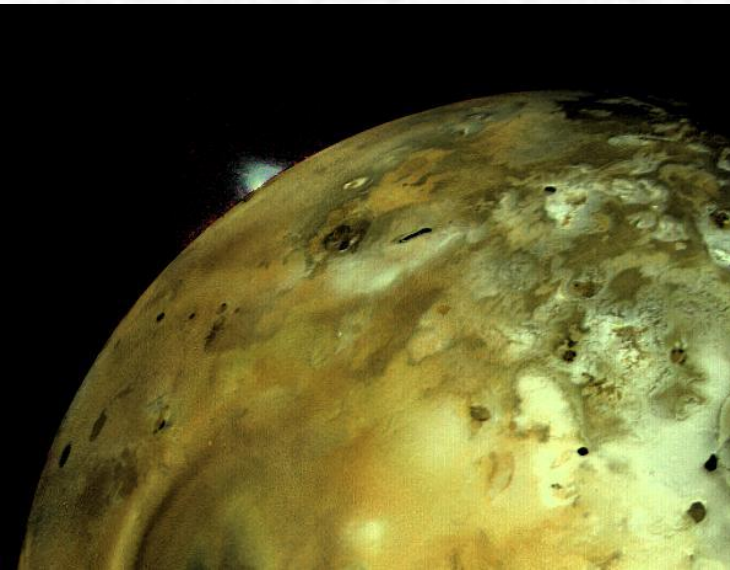
Ио

Спутник назван в честь мифологической Ио.

Первое наблюдение Ио было сделано Галилеем 7 января 1610 года. Он смог увидеть её при помощи рефрактора с 20-кратным увеличением.

Ио-самое активное вулканическое тело Солнечной

системы $\rho=3.53 \text{ g/cm}^3$, $R= 1821 \text{ km}$, $I/MR^2 = 0.377$



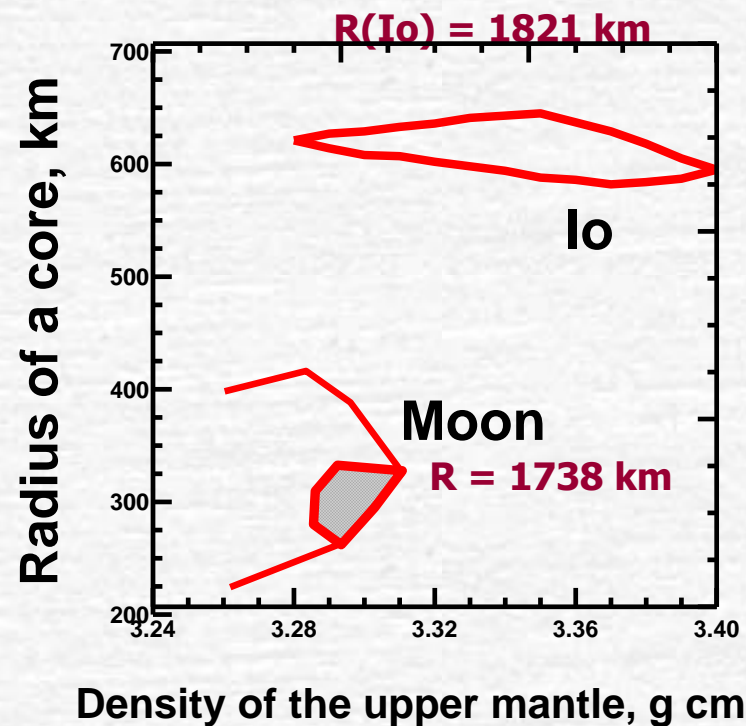
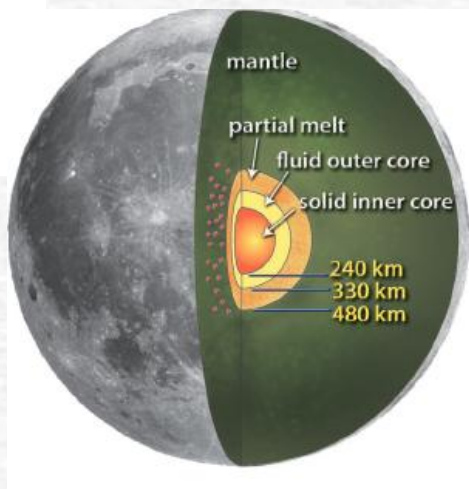
**Приливный разогрев
Султаны вулканических
извержений.**

**Нет ударных кратеров
-> молодая поверхность**

Цепь вулканических кальдер Twashtar

Вулканизм Ио – одно из самых больших открытий космической эпохи – был предсказан на основе анализа взаимных возмущений галилеевых спутников (Peale et al., 1979) и подтвержден с помощью телекамер КА «Вояджер» и «Галилео».

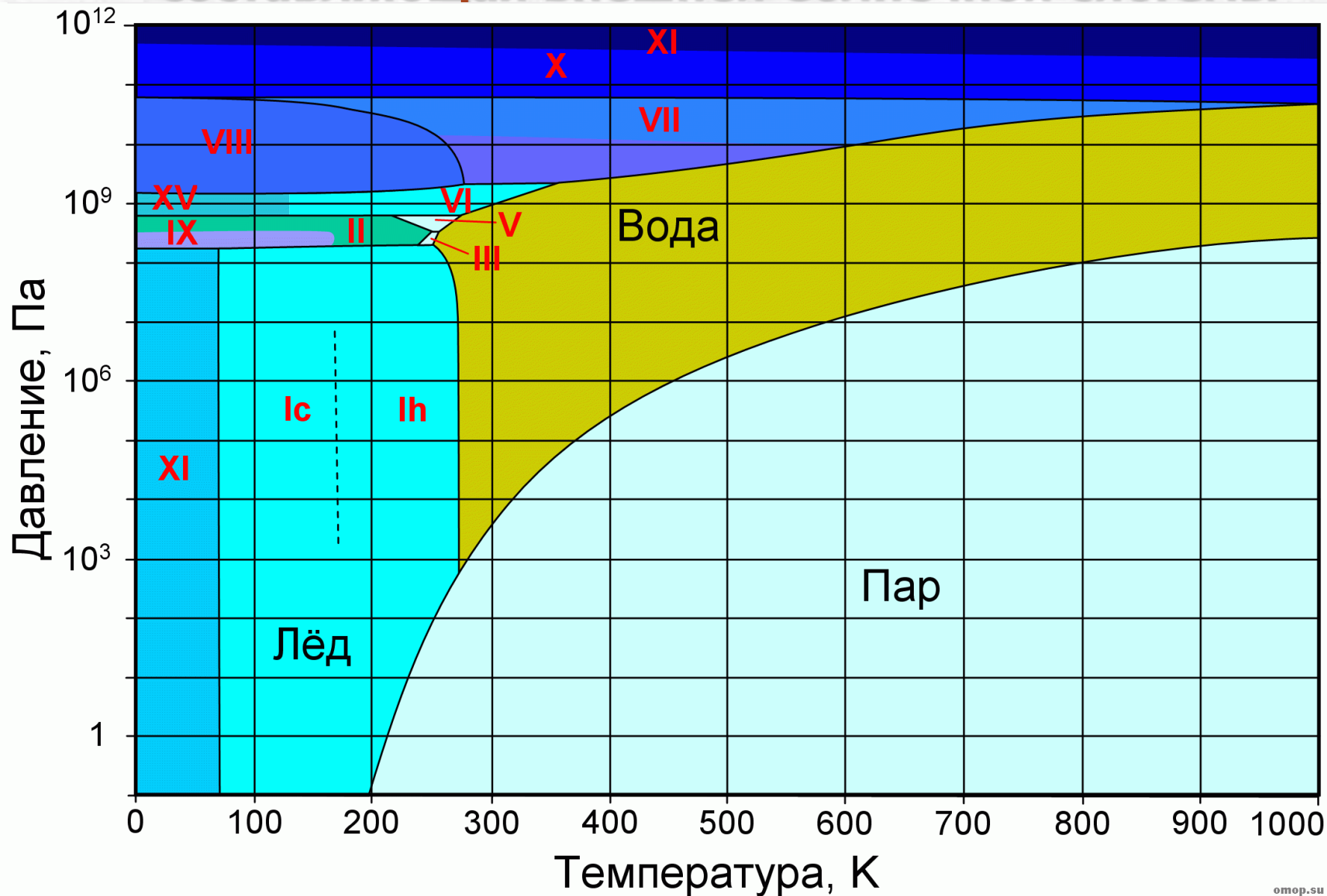
размеры ядер Ио и Луны



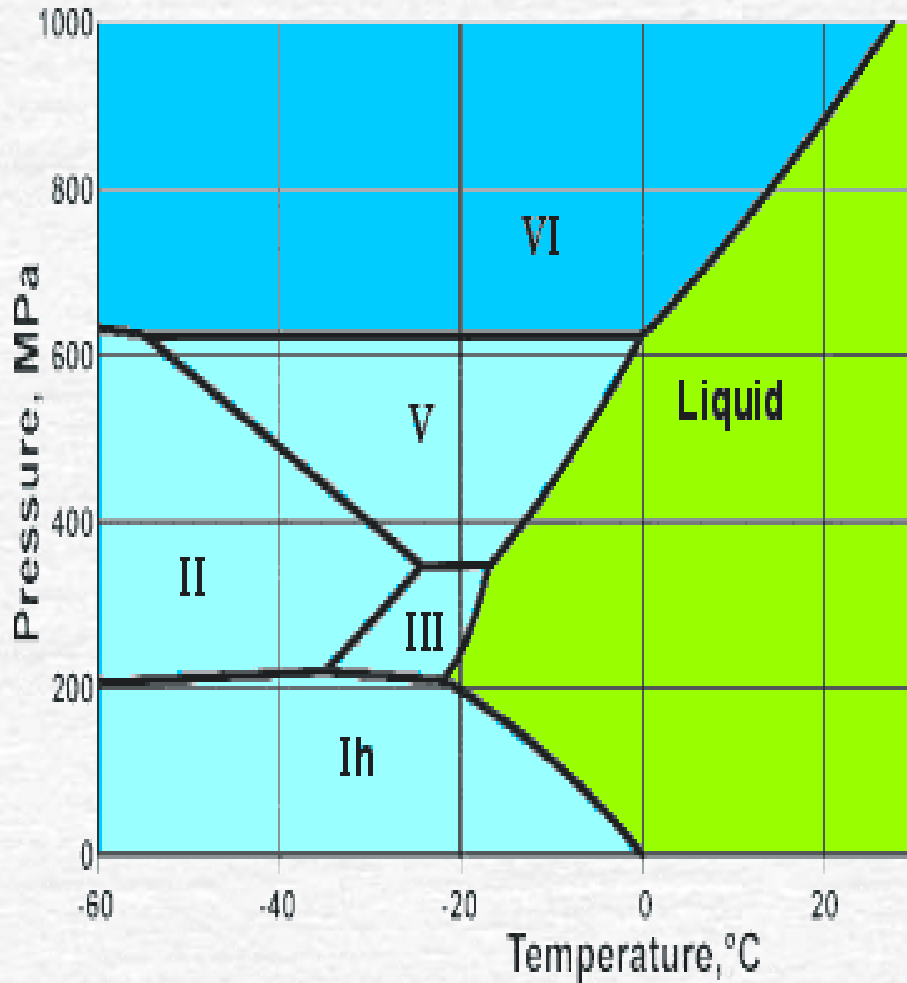
Спутники близки по размерам.

Радиус ядра Ио 600 км, радиус ядра Луны 300 км.

Ледяные спутники - лед H_2O – главная составляющая внешней Солнечной системы



Особенность фазовой диаграммы H₂O - при определенном распределении температуры по глубине спутника существует возможность нахождения воды под слоем льда-I

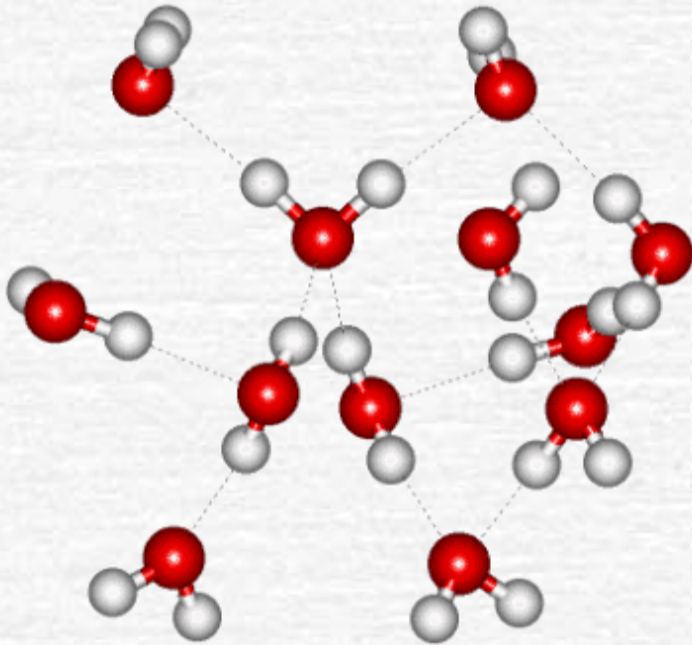


температура плавления льда-I понижается с ростом давления.

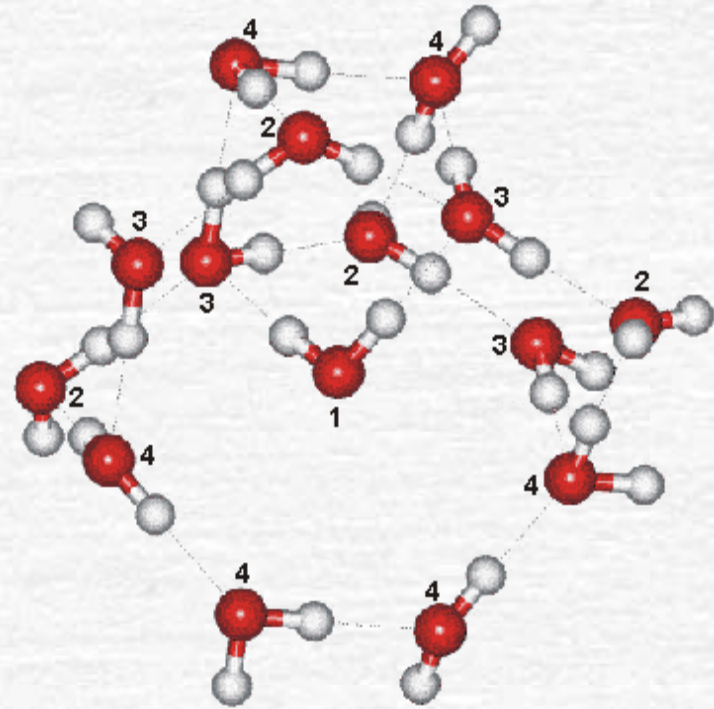
Тройная точка (вода + лед-I + лед-III) характеризует минимальную $T_{пл}$ льда-I.

Поэтому возникает возможность существования жидкой фазы под ледяной корой спутников. Температура плавления плотных модификаций льдов возрастает с увеличением давления и в области льдов V-VI, устойчивых в Ганимеде, Каллисто и Титане, может достигать более 20°C.

Элементарная ячейка льдов



лед III



лед V

Европа



- Спутник назван именем персонажа древнегреческой мифологии — дочери финикийского царя Тира, возлюбленной Зевса (Юпитера).



**Европа – второй от
Юпитера спутник,
~9 R Юпитера, $\rho = 2.989 \text{ g/cm}^3$, R=
1565 km, $I/MR^2 = 0.346$**



Приливный нагрев, молодая
поверхность - ударные кратеры
редки

**На поверхности – ледяная кора.
Из плотности следует, что
большая часть тела – железо-
каменный материал.**

Верхние 100 км -лед / вода

Европа, $\rho = 2.989 \text{ g/cm}^3$, $R = 1565 \text{ km}$, $I/MR^2 = 0.346$



Тектоника - Поверхность спутника с гладким рельефом испещрена сетью трещин в ледяной коре шириной до 200 км - результат тектонических процессов (диапиризм, криовулканизм) за счет гравитационного взаимодействия с Юпитером.

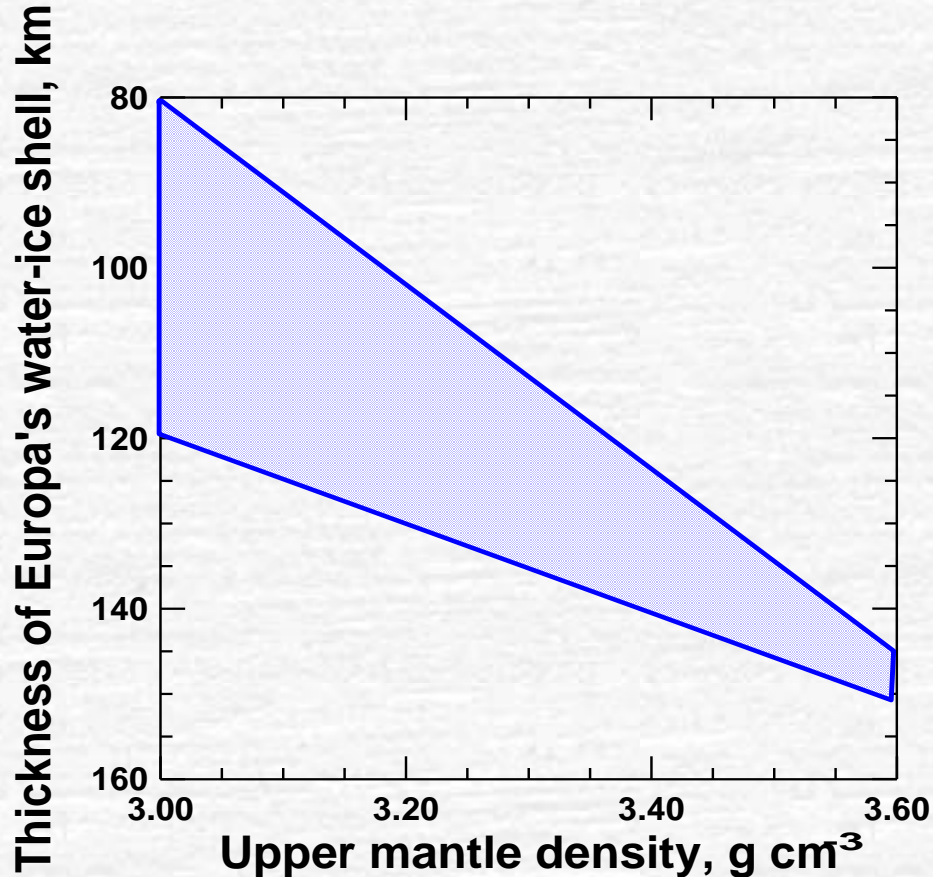
Варианты строения внешней оболочки:

- 1) сплошной слой льда до границы железокаменного ядра
- 2) Океан под ледяной корой.

Океан под относительно тонким (<10-20 км) слоем льда:

Жизнь?

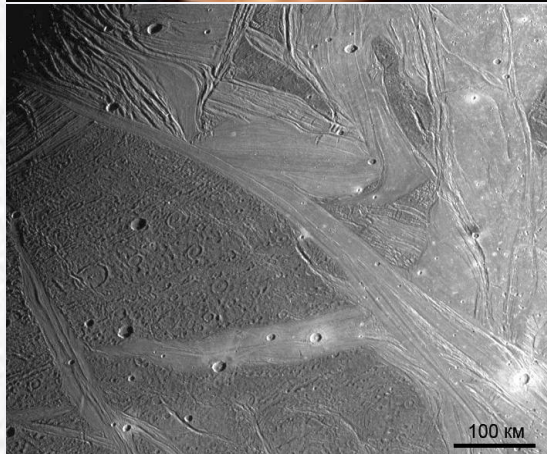
Европа: мощность водно-ледяной оболочки



мощность H₂O-оболочки: 80-160 км, что на порядок превосходит глубину земного океана

получено методом Монте-Карло

Ганимед – самый крупный спутник Солнечной системы, $\rho = 1.94 \text{ g/cm}^3$, $R = 2634 \text{ km}$, $I/MR^2 = 0.3105$, 15 R Юпитера



Ганимед сын троянского царя, которого Зевс/Юпитер, приняв вид орла, похитил на небеса

Результаты Галилео:

Собственное магнитное поле => океан или жидкое ядро

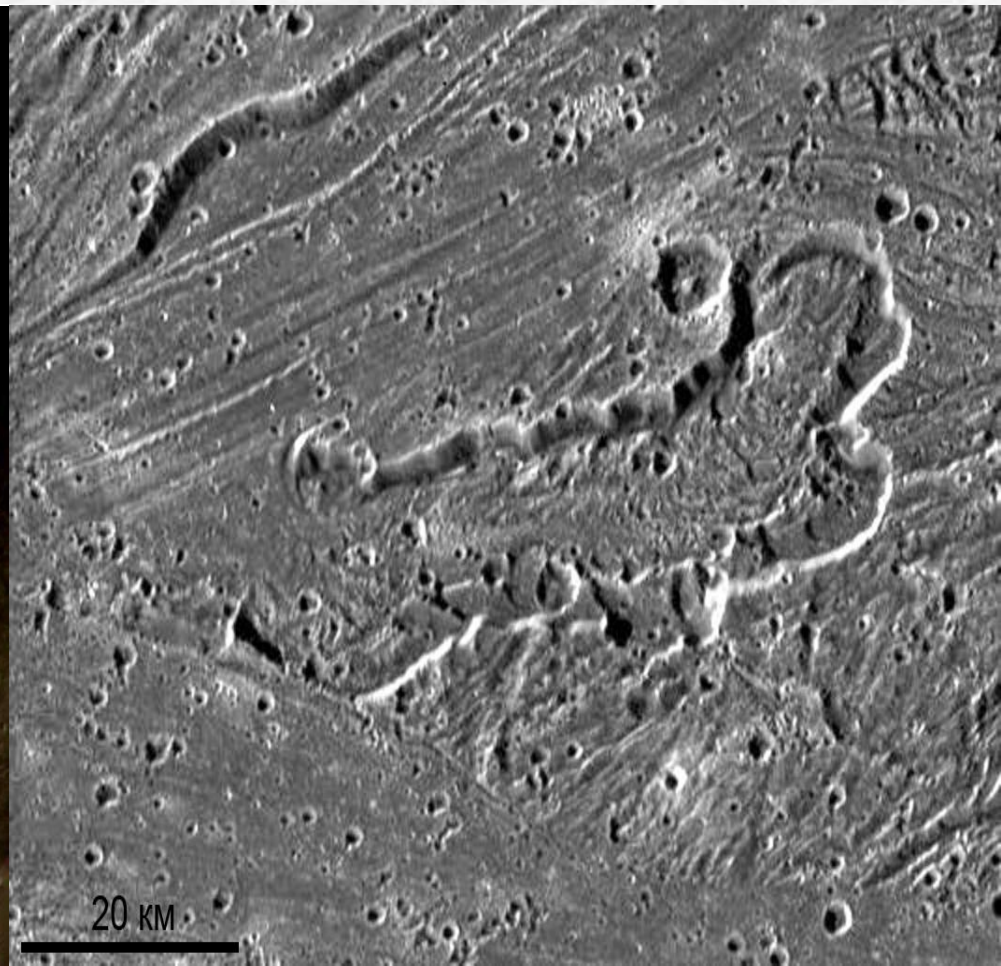
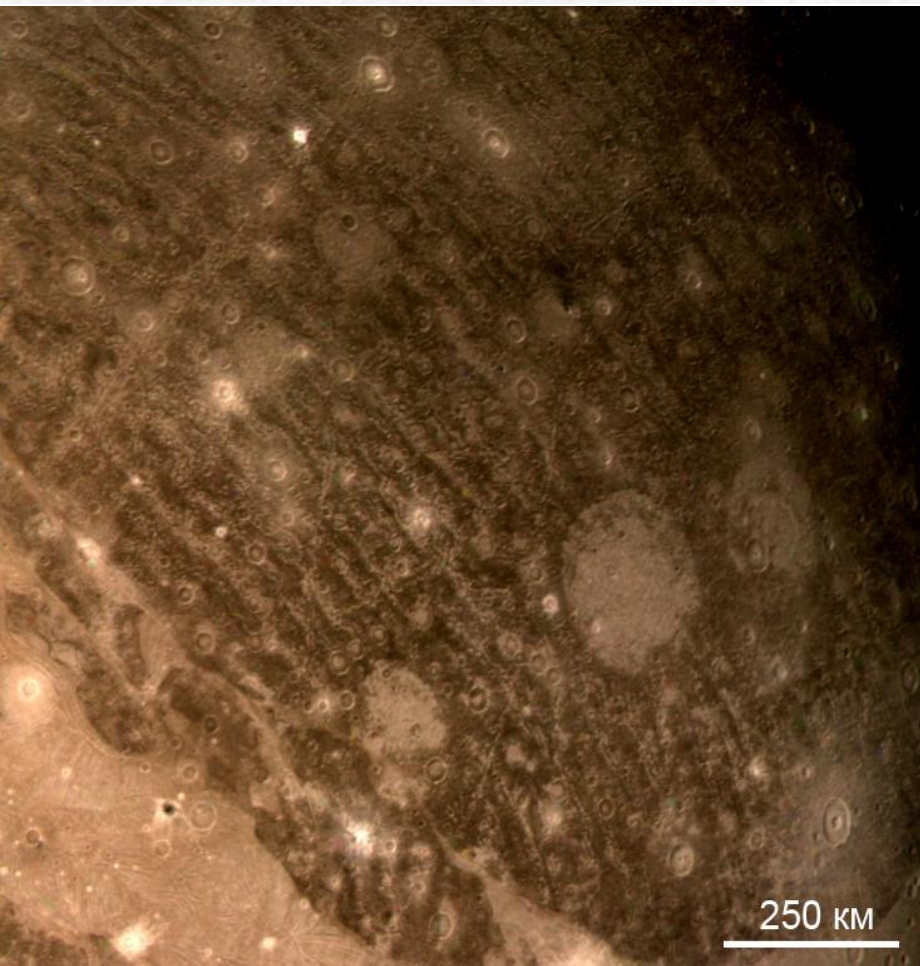
древняя сильно кратерированная поверхность, бассейну Гильгамеш приписывается возраст около 4 млрд лет. Низкая средняя плотность Ганимеда ($\rho \sim 2 \text{ г/см}^3$) указывает, что он состоит из смеси железокристаллического материала и водяного льда, причем последний занимает существенную долю в составе спутника.

Борозды на Ганимеде

Кратеры и борозды на Ганиমেде

“Кальдера” на Ганимеде – криовулканизм?

Разнообразие геологических форм на Ганимеде делают его самым интересным из галилеевых спутников с позиции планетной геологии (*Моррисон, 1985*).



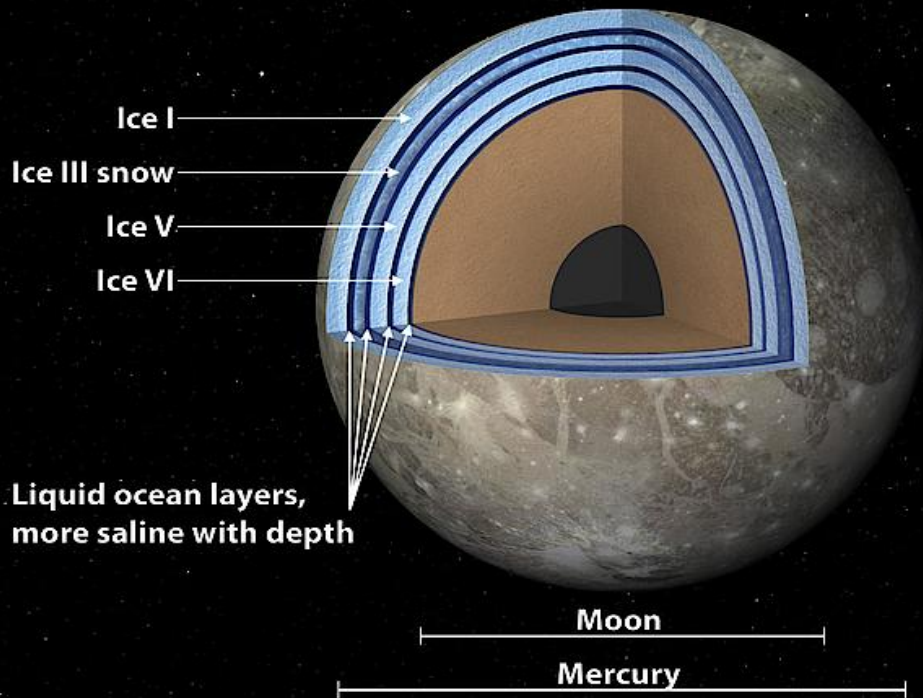


Строение Ганимеда

Мощность водно-ледяной оболочки – 800-900 км.

Радиус Fe-S ядра ~800-900 км, T (ядро-мантия) ~1500 К (Kuskov, Kronrod, Icarus, 2001)

Ganymede



Источник магнитного поля остается неясным. Магнитное поле Ганимеда связано с расплавленным Fe-S ядром или с наличием океана.

Каллисто

Спутник назван именем персонажа
древнегреческой мифологии



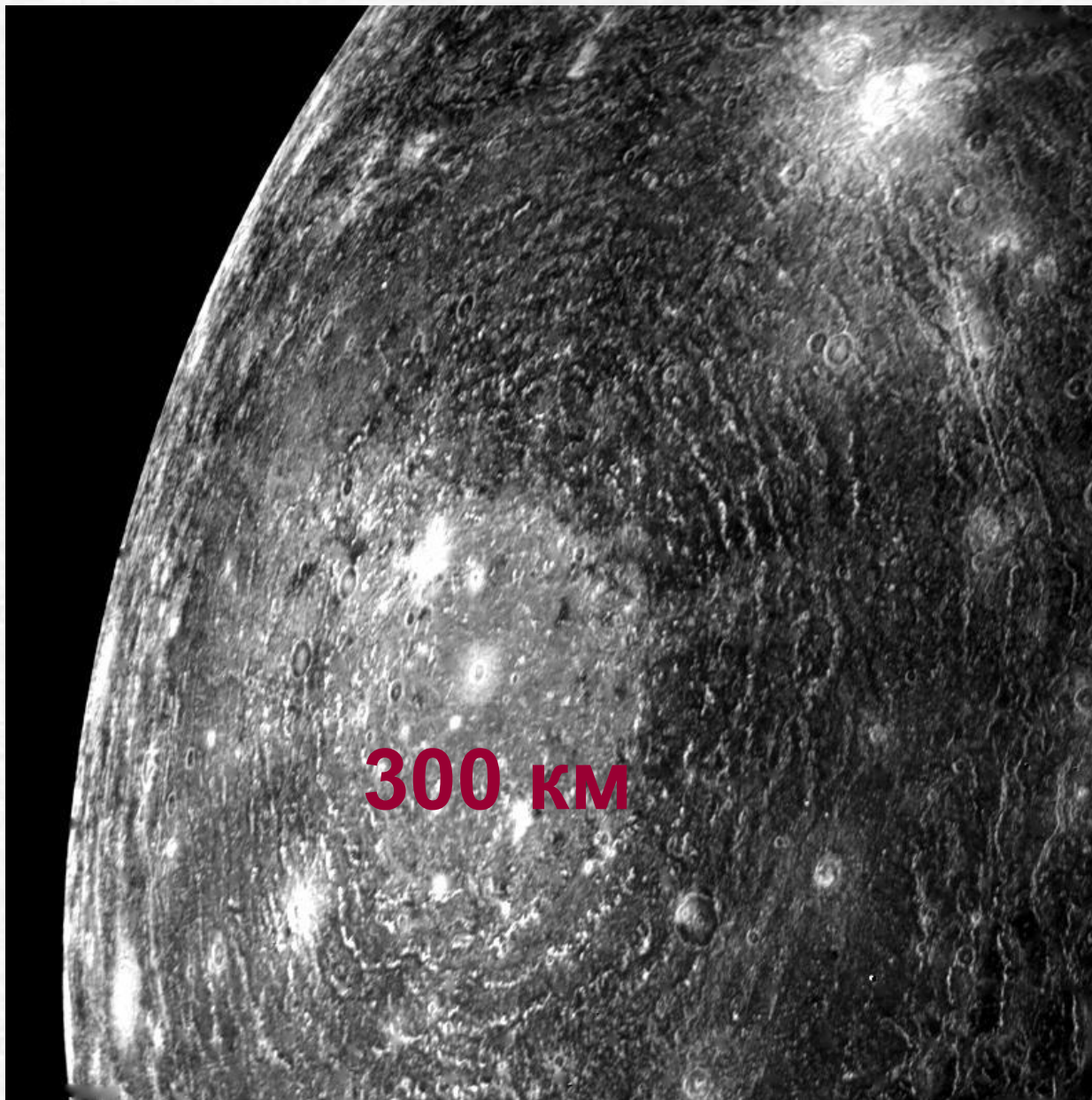
Каллисто, $R=2410$ км, $I^*=0.3549$, $\rho=1.834$ г/см³

- ☞ **Поверхность Каллисто - наиболее древняя среди галилеевых спутников, покрытая множеством кратеров, не несет следов вулканической активности. По насыщенности кратерами Каллисто превосходит Луну и Меркурий.**

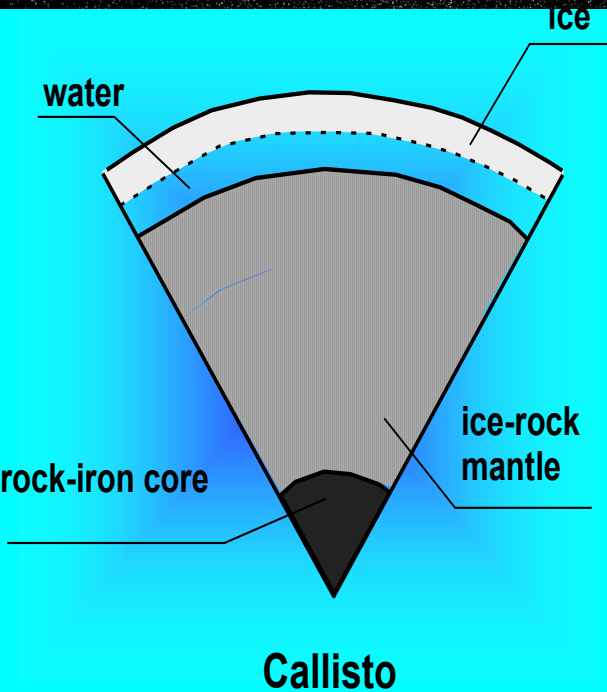
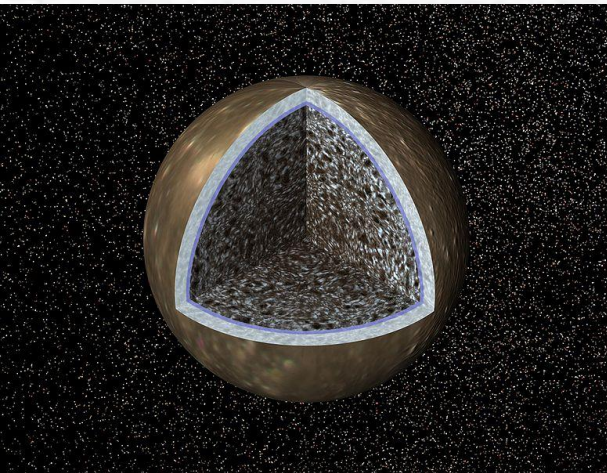
- ☞ **заметны ударные бассейны.**

Основные черты спутника сформировались в период интенсивной метеоритной бомбардировки, завершившейся ~4 млрд лет назад.

Ударный бассейн на Каллисто



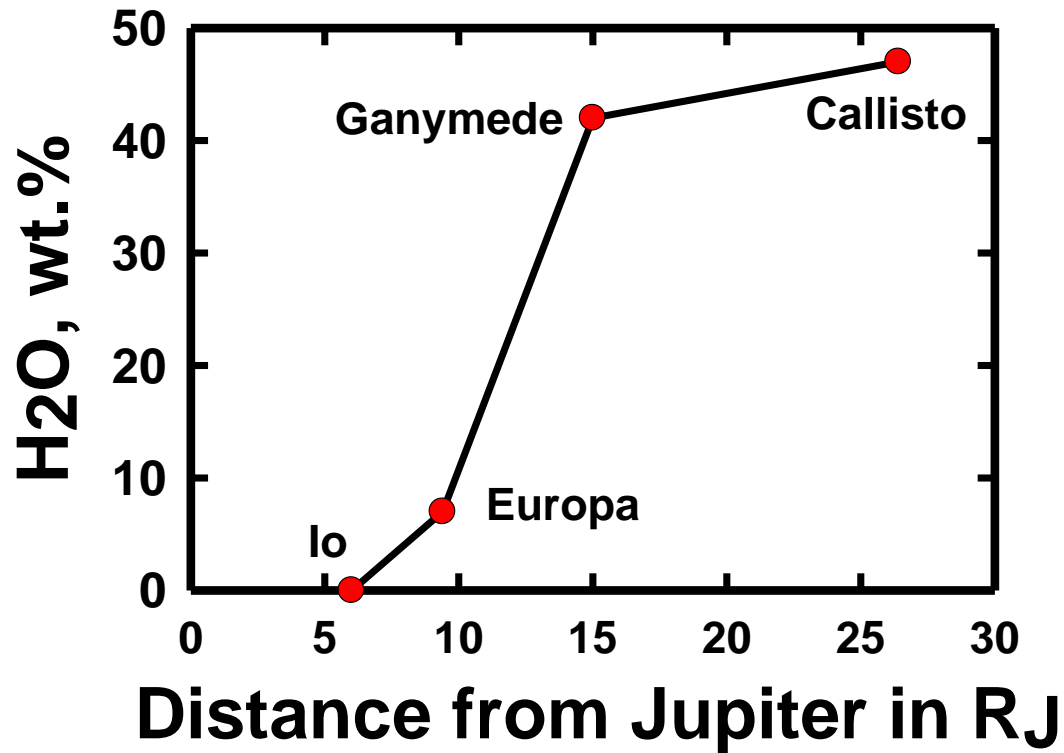
Каллисто - Магнитные измерения Галилео => Взаимодействие с магнитосферой Юпитера => соленая вода в недрах (подледный океан)



особый случай планетарного тела, состоящего из **каменно-ледяной области**, в которой не было разделения льда и скального материала. **Металлического ядра нет.**

Результаты допускают **существование океана.** Возмущения магнитного поля могут быть связаны с конвективными движениями в морской воде. Возможно, **океан устойчив** (не замерзает) вплоть до настоящего времени.

H₂O в спутниках Юпитера

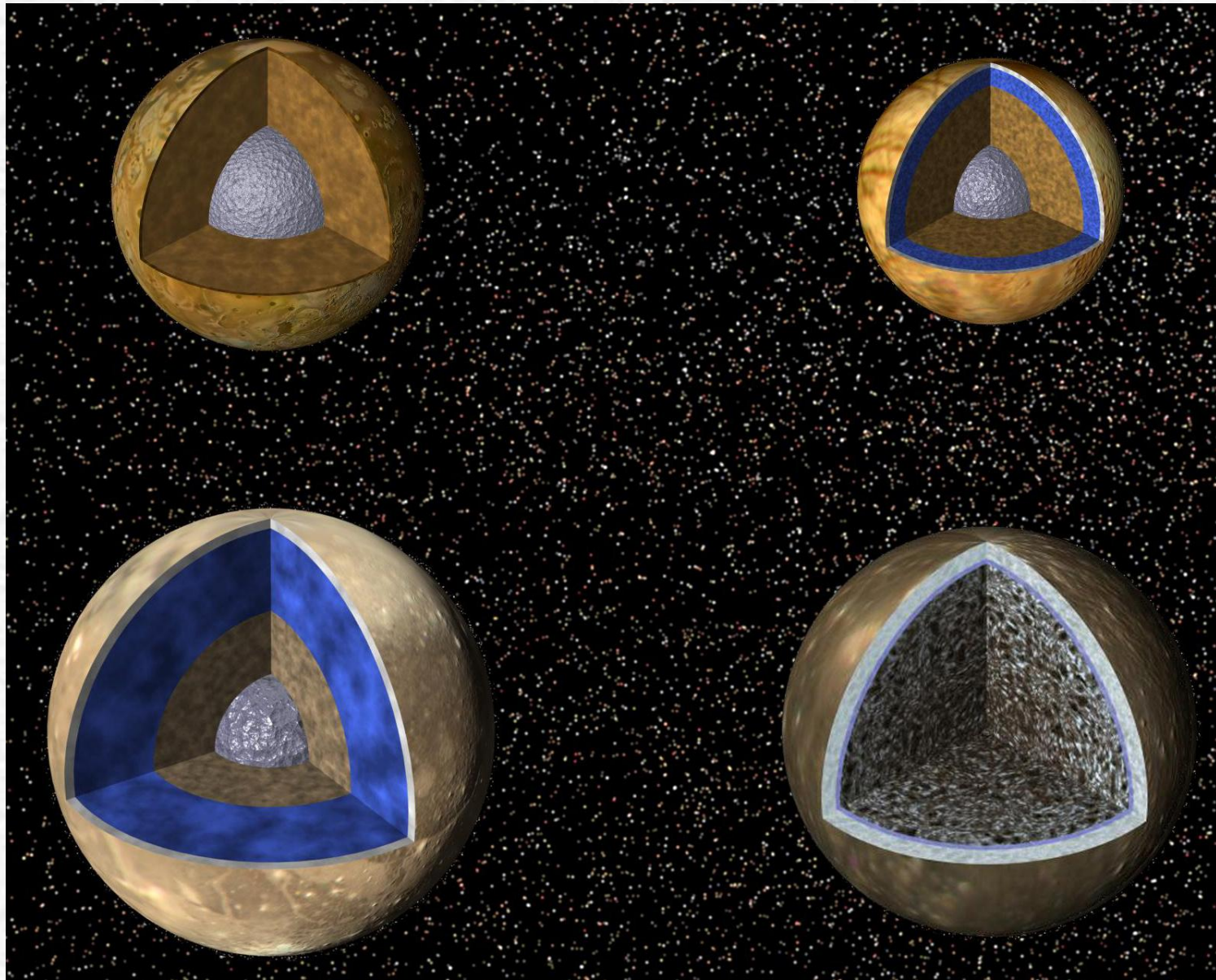


Io – безводный спутник.

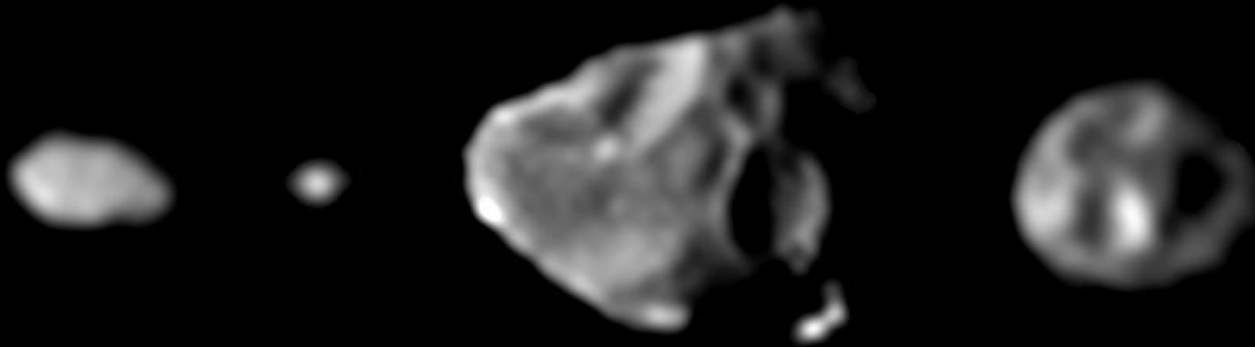
Европа - 6-8 мас%.

Содержание H₂O в виде воды, льдов и водных минералов в Ганимеде и Каллисто около **50%**.

Модели внутреннего строения Галилеевых спутников



Малые спутники Юпитера

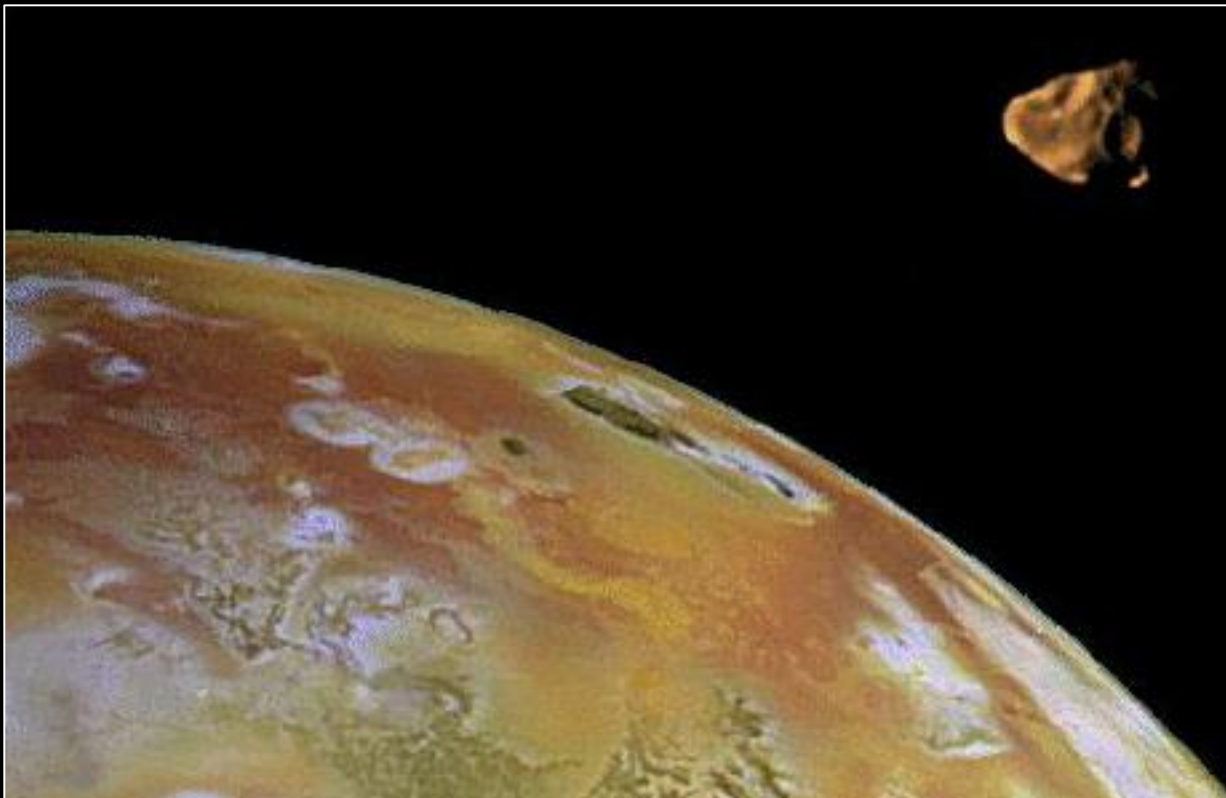


Метида, 60 км

Адрастея, 20 км

Амальтея, 247 км

Феба, 116 км



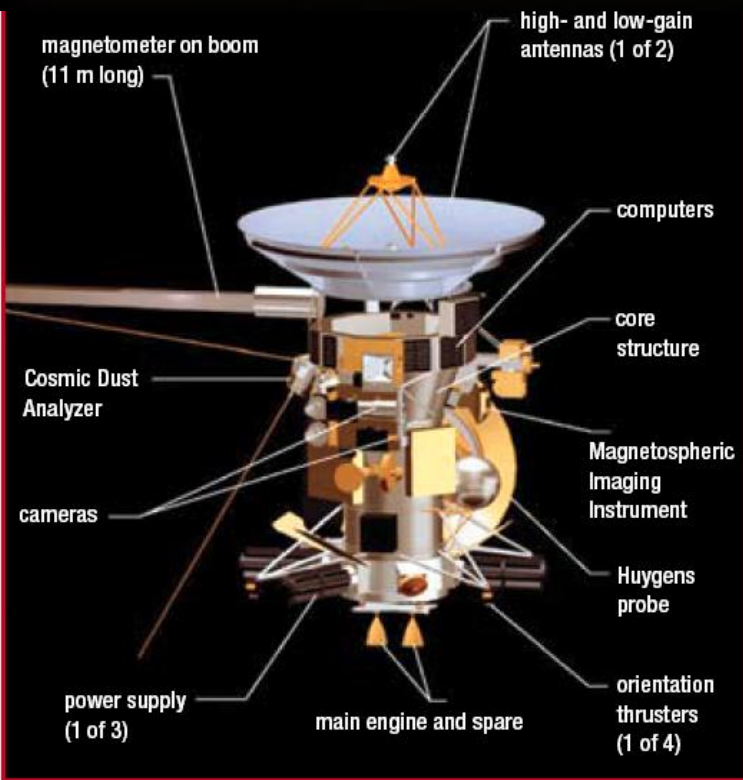
Снимки
Галилео

Сатурн – 6-я планета, > 50 спутников



Расстояние от Солнца 9.5 а.е., $D = 120000$ км, $M = 95 M$ Земли,
 $\rho = 0.7$ г/см³. Внешняя оболочка: H_2 , He.
В центре $P \sim 10$ млн бар, $T \sim 10000$ К.

Система Сатурна



Кольца Сатурна

Орбитальный аппарат Кассини с зондом Гюйгенс достиг системы Сатурна в 2004.

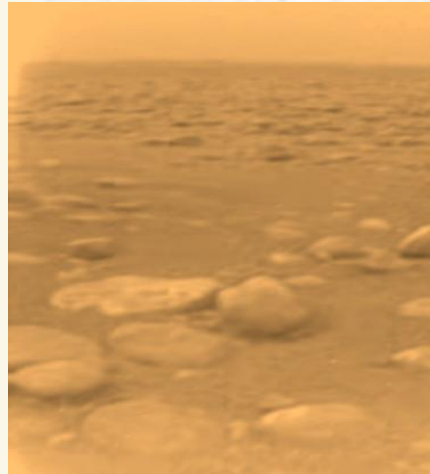
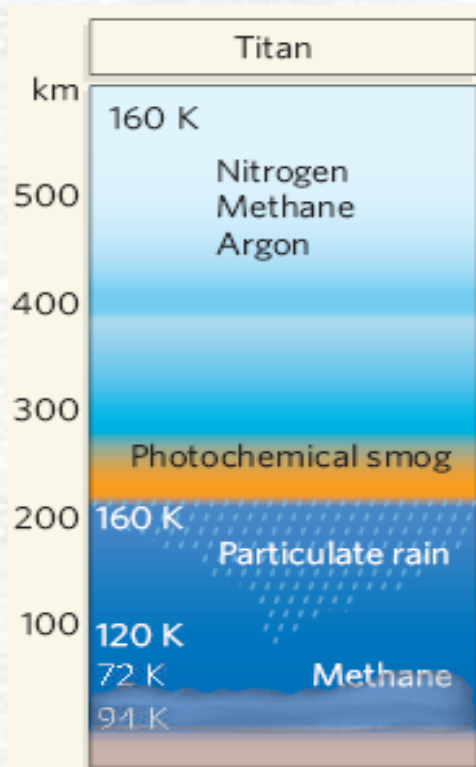
Титан – открыт Х. Гюйгенсом в 1655 г.



**ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС
(1629–1695)**

В январе 2005 зонд Гюйгенс выполнил спуск в атмосфере Титана – **Титан** - один из главных объектов изучения КА Кассини-Гюйгенс.

Титан – уникальный спутник с атмосферой (P=1.5 бар)

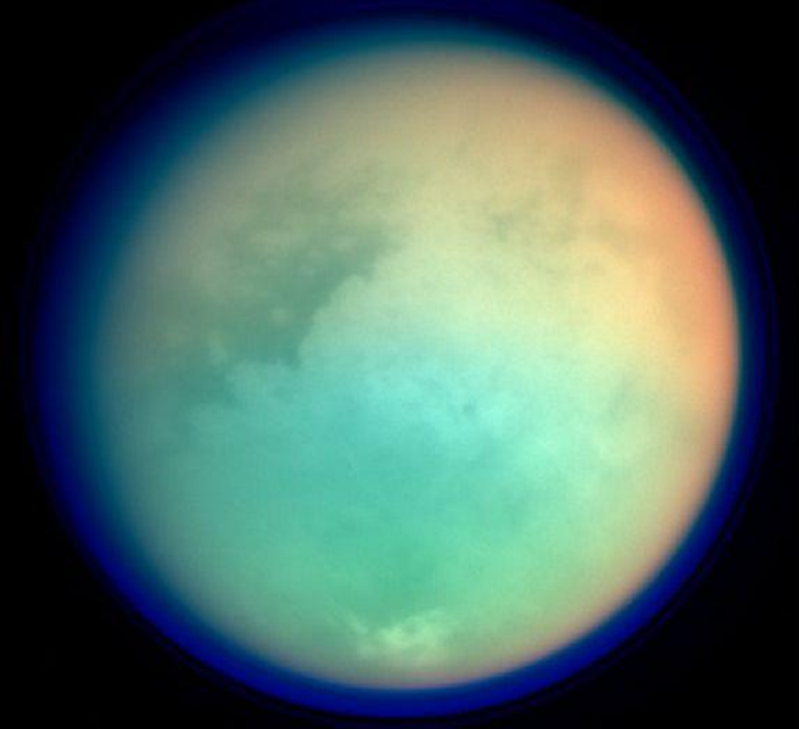


Знакомый пейзаж

Температура поверхности составляет 94 К. Атмосфера спутника является преимущественно азотной (98%) с малым содержанием метана и некоторых других газов.

Титан - второй по величине спутник в Солнечной системе: D 5150 км - больше, чем у Меркурия. Плотность Титана 1.88 г/см³. Высказано предположение о существовании озер или морей из **жидких углеводородов**, возможны **формы жизни, основанные на метане** (вместо воды), дышащие водородом и питающиеся ацетиленом.

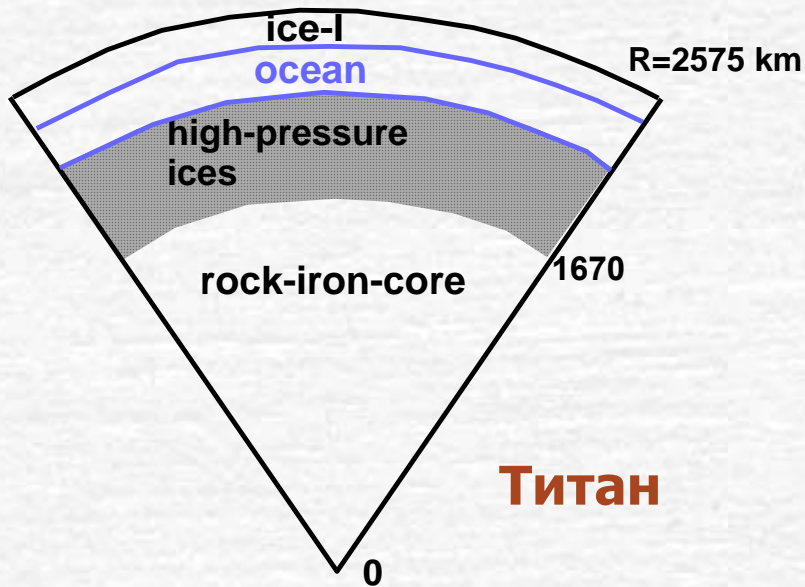
На поверхности Титана существуют озёра из жидкого метана. Важно подчеркнуть, что температура поверхности как раз соответствует фазовому переходу метана. Соответственно, метан испаряется с поверхности, переходит в атмосферу, образует облака, из которых выпадает метановый дождь. По существу, на Титане осуществляется круговорот метана аналогично круговороту воды на Земле.



Титан

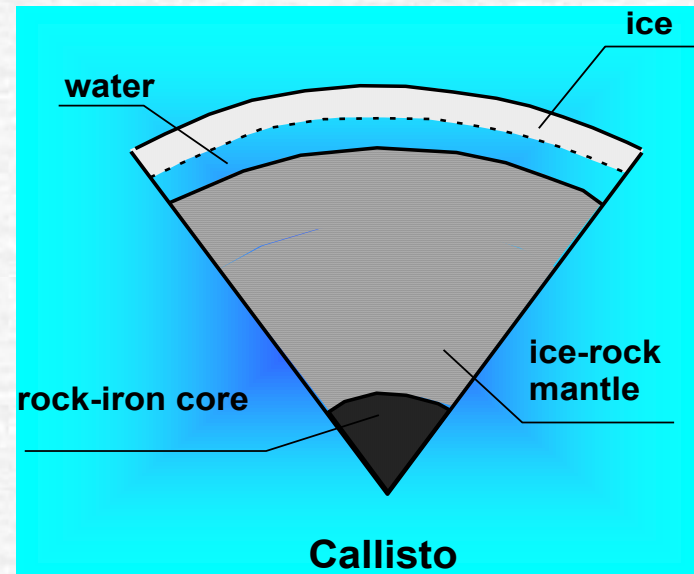
Размеры и плотность Каллисто, Титана и Ганимеда сопоставимы. Спутники состоят из смеси льдов H₂O и железокаменного материала.

Но степень дифференциации, морфология поверхности, характер аккреции и влияние источников тепла на геологическую историю спутников существенно различаются.



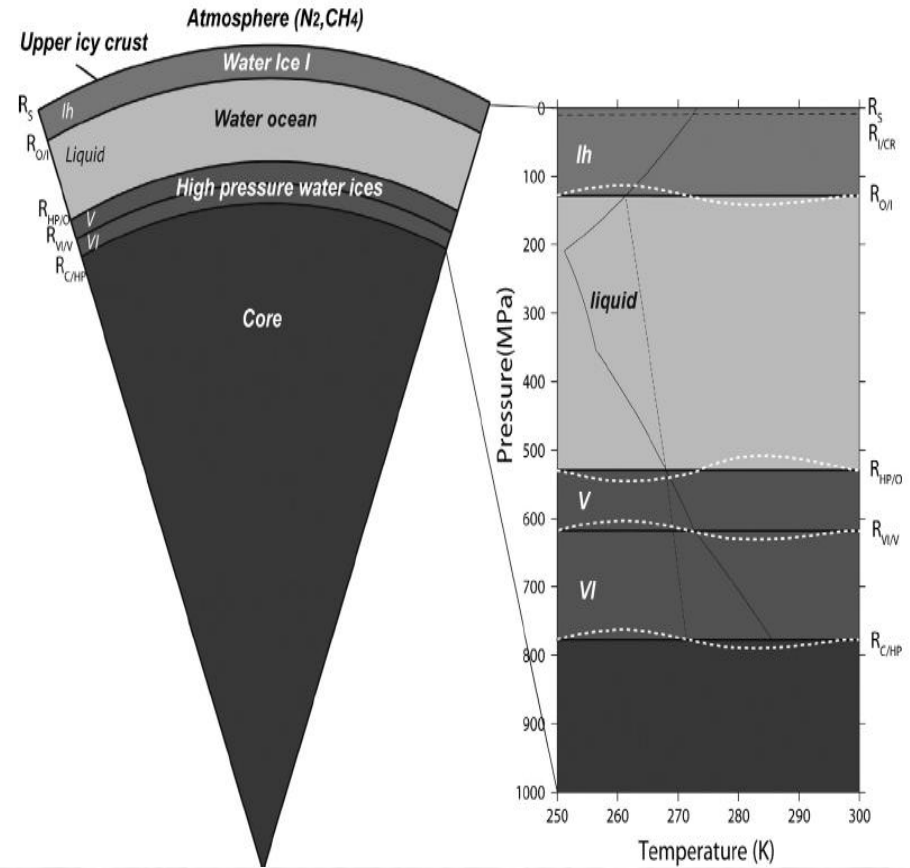
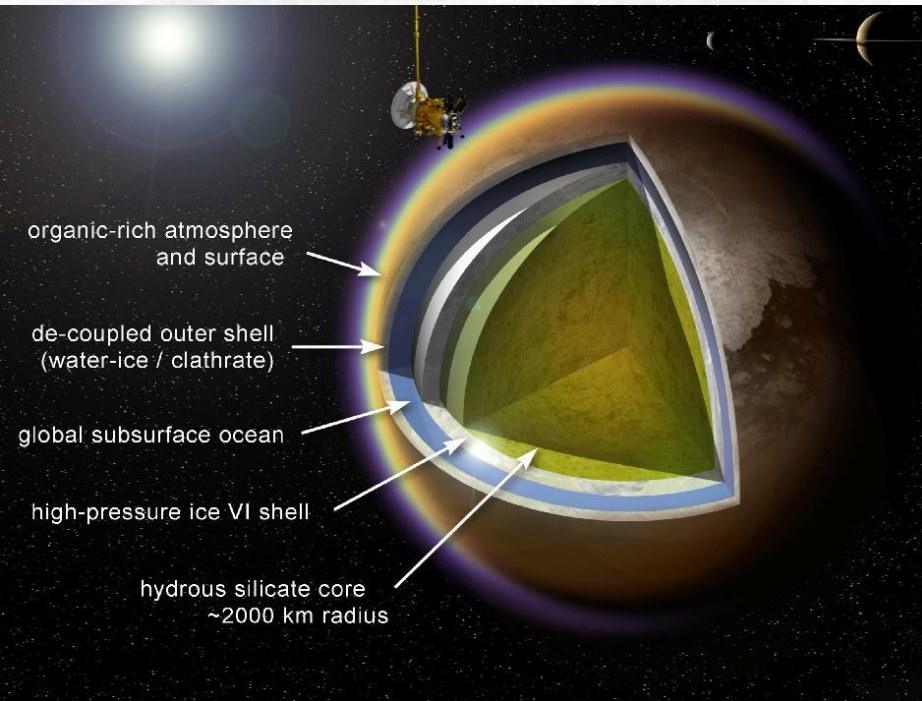
Титан

Titan (Sohl et al., 2003)



Каллисто

Строение Титана



Водно-ледяные оболочки и Океаны

Оболочка, км	Каллисто	Титан	Ганимед
Ледяная кора	150	70	120
Океан	150	220	140
Полная мощность H ₂ O оболочки	300	900	850

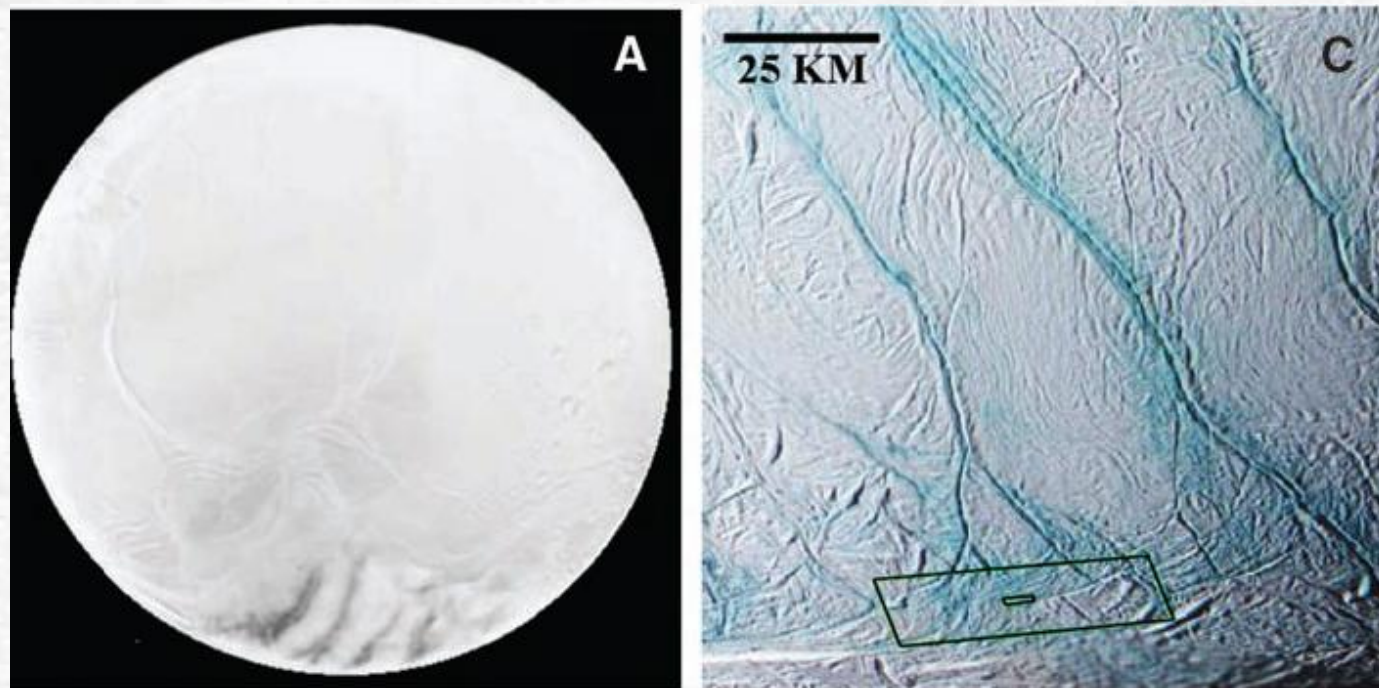
Ганимед – дифференцированный спутник с Fe-S ядром.

Титан – дифференцированный спутник, Fe-S ядро - неизвестно.

Каллисто - особый случай планетарного тела, состоящего из недифференцированной каменно-ледяной области и железокаменного ядра.

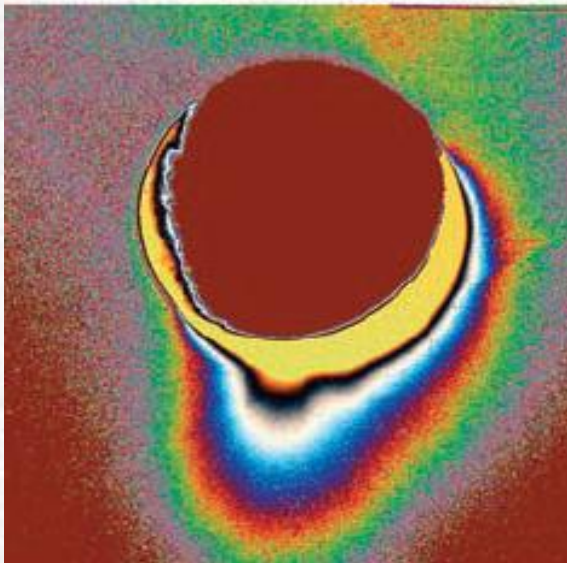
• Все три спутника предположительно имеют внутренние океаны.

Энцелад - самое белое тело в Солнечной системе



Диаметр 500 км, плотность 1.6 г/см³. Поверхность Энцелада имеет необычный рельеф, связанный с разломами длиной около 100 км - «тигровые полосы». Предполагается, что Энцелад имеет силикатное ядро с радиусом 170 км и водно-ледяную оболочку ~80 км из клатратов, жидкой воды, насыщенной газами, и льда H₂O.

Водные плюмы Энцелада - Гейзеры



На Южном полюсе обнаружены **мощные струи водяного пара высотой в несколько сот километров** (Porco et al., 2006). Поскольку спутник удержать атмосферу не может, она имеет асимметричную форму и напоминает газовой хвост кометы. Состав плюмов: водяной пар - $91 \pm 3\%$, N_2 - 4%, CO_2 - 3.2% и CH_4 - 1.6%. Газовый состав водных плюмов свидетельствует об относительно высоких температурах спутника. Сценарии происхождения плюмов анализируются.

Предполагается, что источником энергии извержений служит разогрев недр спутника, обусловленный приливными напряжениями

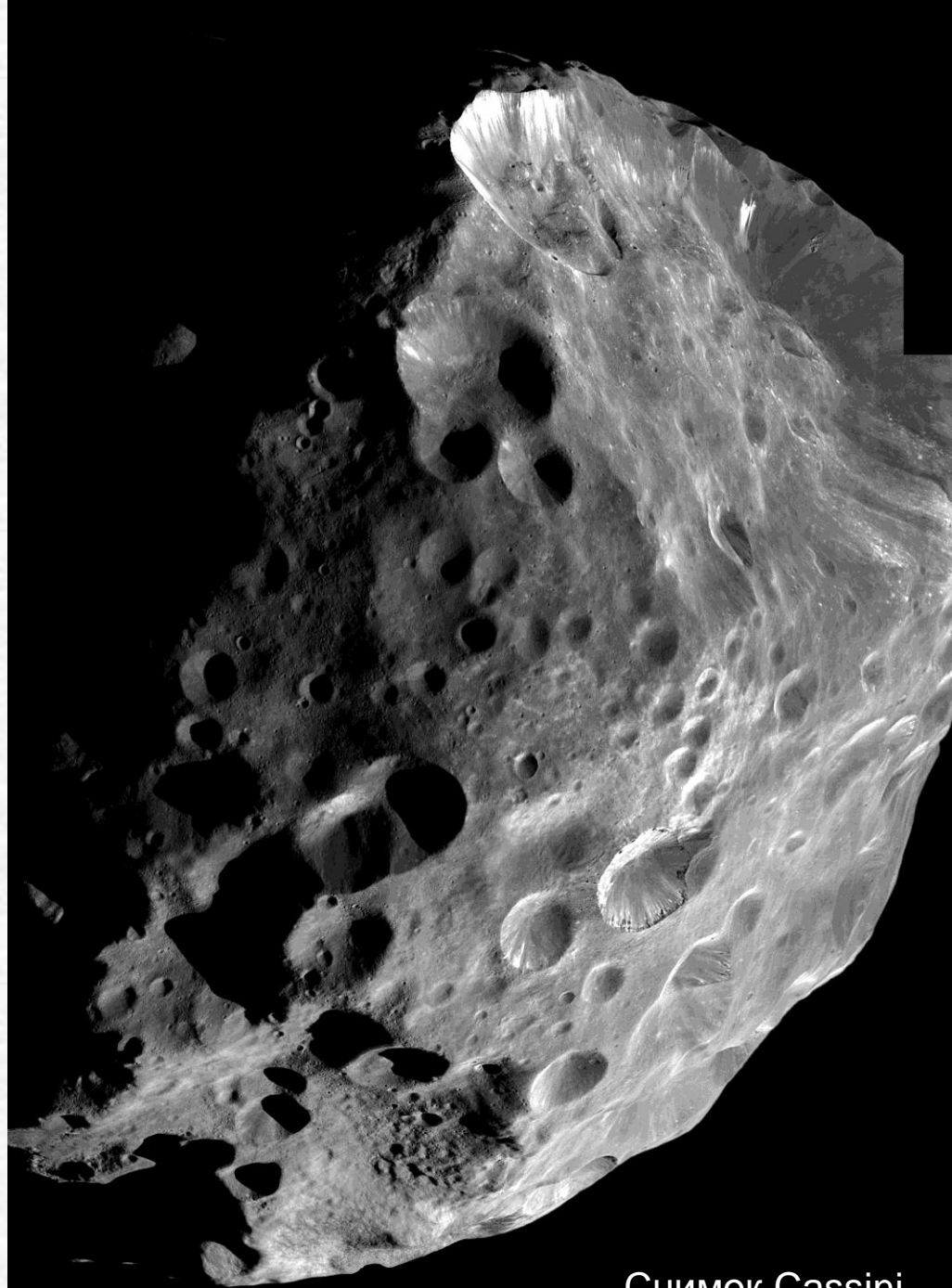
Феба, 210 x 230 км

$\rho = 1.63$

Состав:

Пористый углистый
хондрит

Ударные кратеры



Снимок Cassini

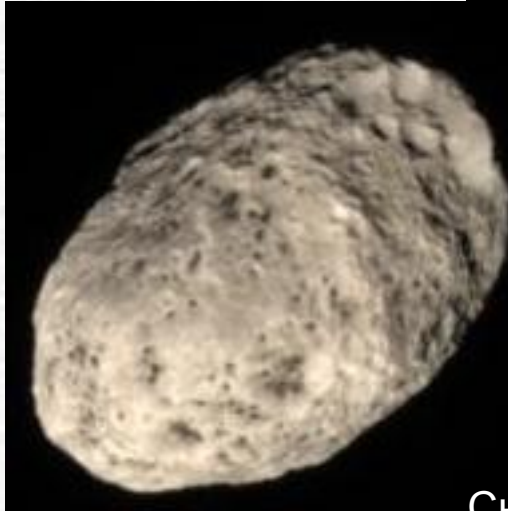
Гиперион, 225 x 370 км

$\rho = 0.57$

Пористость ~50%

Состав: лед H_2O

Ударные кратеры



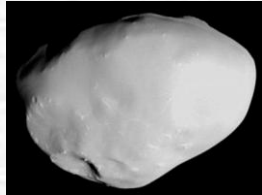
Снимки Cassini

Мимас, D = 400 км



Ударные кратеры
 $\rho = 1.15 \text{ г/см}^3$
Состав: лед H_2O
с примесью
силикатов?

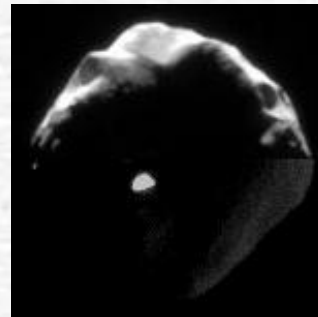
Малые спутники Сатурна



Телесто
16 x 30 км



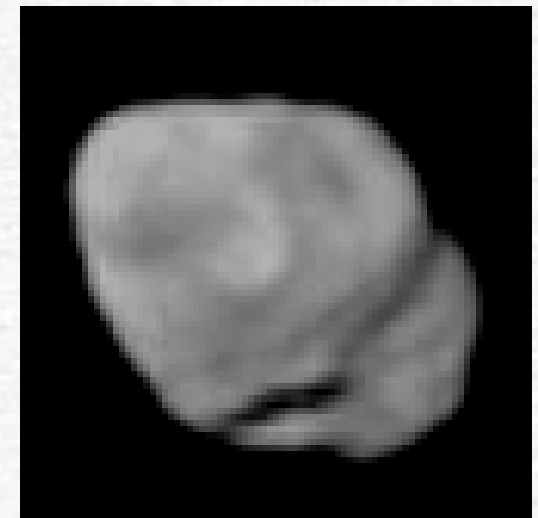
Пандора
62 x 110 км



Елена
D = 32 км



Калипсо
16 x 30 км



Прометей
68 x 148 км

Снимки Cassini

Уран – 7-я от Солнца планета, ≥ 24 спутника

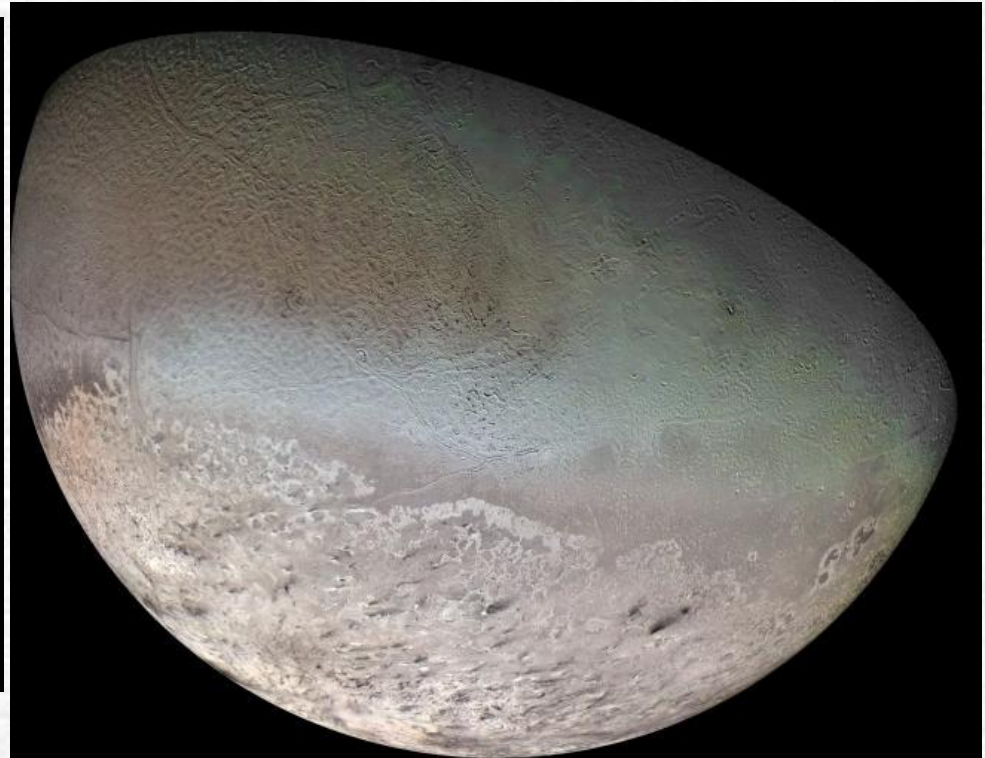
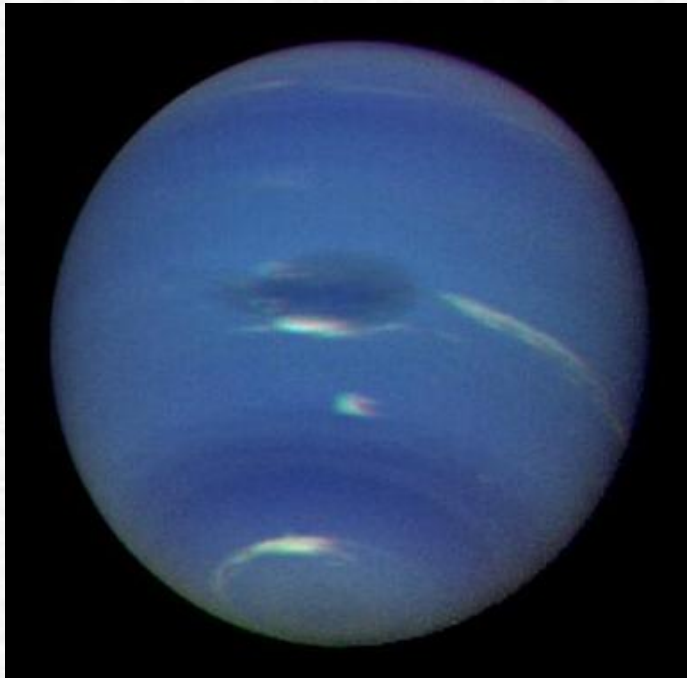


Расстояние от
Солнца 19.2 а.е.
 $D = 51,000$ км
4 D Земли
 $M = 14.5 M$ Земли
 $= 1.3$ г/см³

Снимок Voyager 2

Титания, $D = 1580$ км
 $\rho = 1.71$ г/см³
Состав: Лед H₂O + силикаты

Нептун – 8-я от Солнца планета, ≥ 13 спутников



Расстояние от Солнца 30 а.е.
 $D = 50,000$ км, 4 D Земли
 $M = 17 M$ Земли, 1.76 г/см³

Тритон, спутник Нептуна, $D = 2700$ км $M = 0.03 M$ Земли, = 2.06 г/см³,
его поверхность – это метановый лёд.

Резюме по внешним планетам:

Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун – гиганты, существенно газовые, удалены от Солнца.

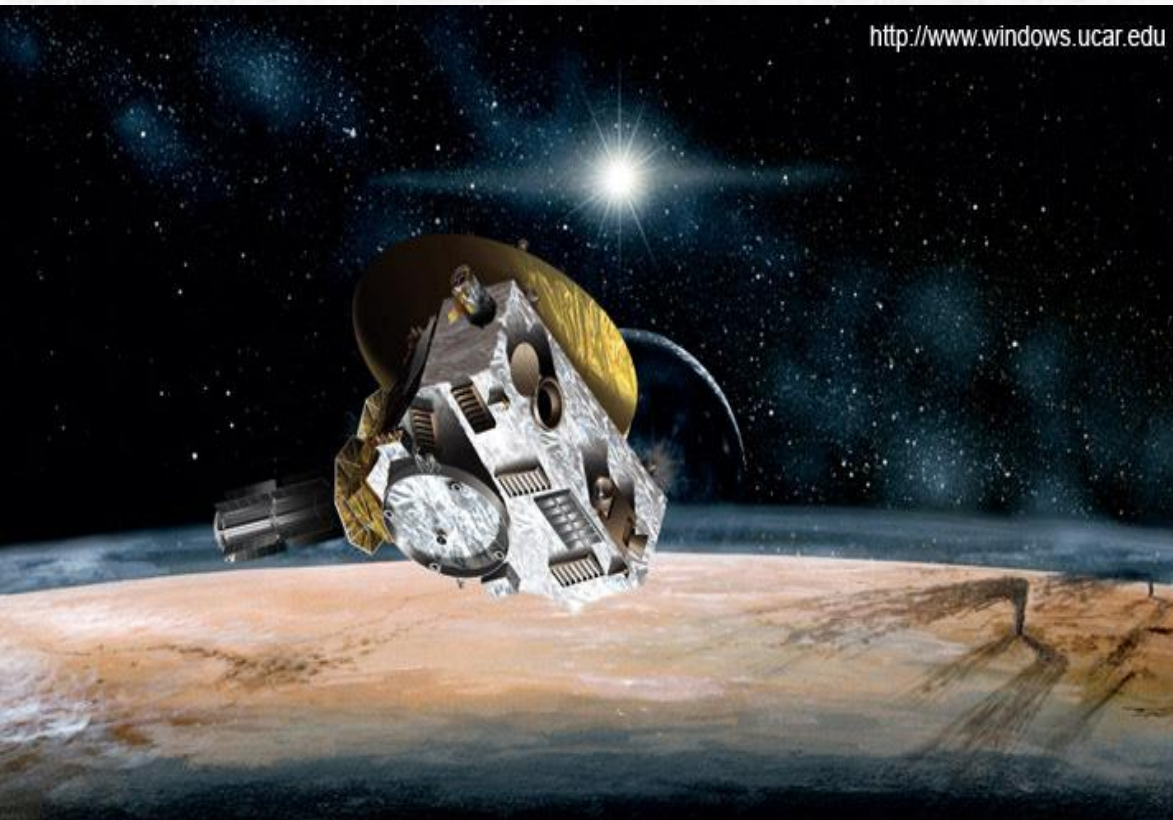
системы спутников – похожи на Солнечную систему

Спутники – от очень больших (Ганимед, Титан,...) до маленьких.

На больших спутниках следы «эндогенной» активности на маленьких –ударные кратеры.

Ио, Европа и Энцелад – геологические эффекты приливного разогрева.

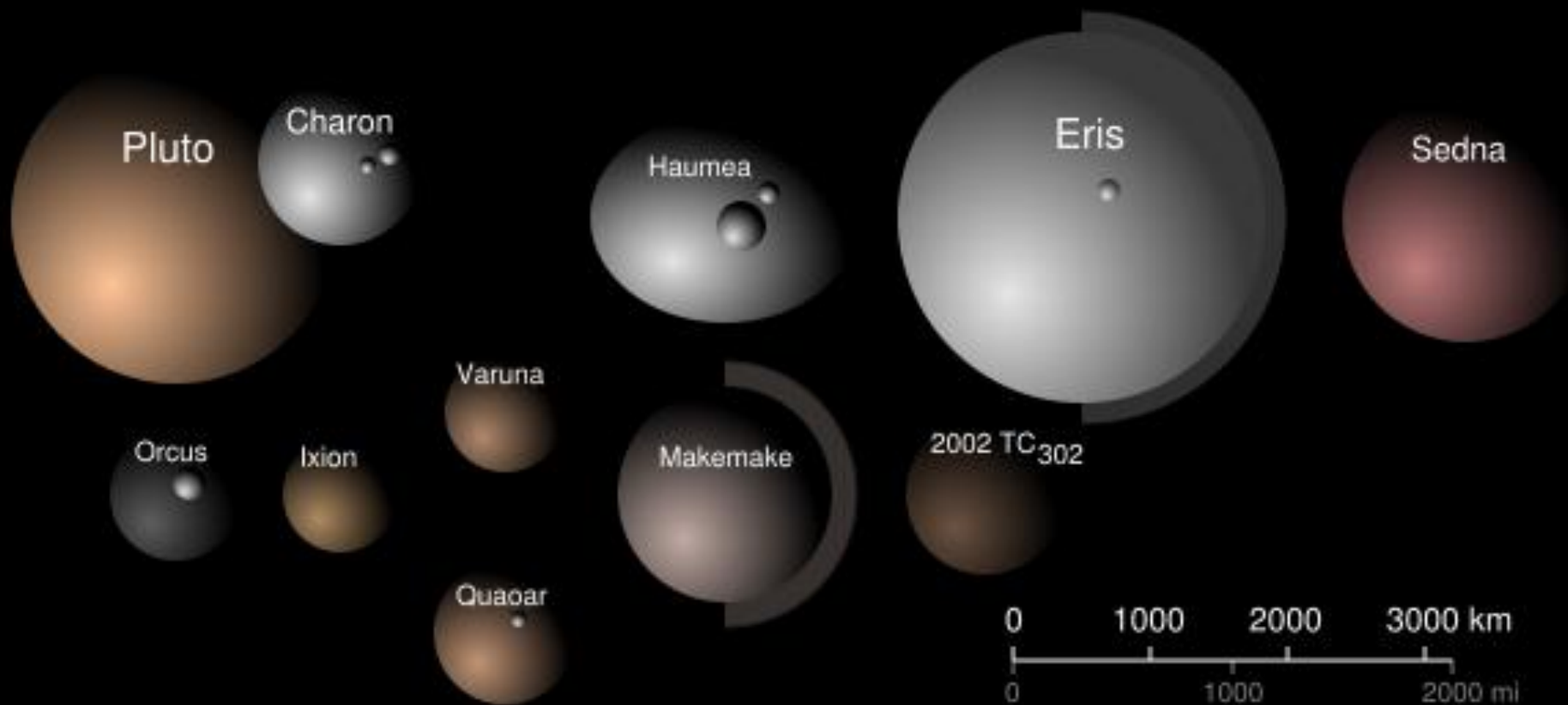
Плутон - карликовая планета (39.4 а.е.), он же объект пояса Койпера, Бинарная система Плутон – Харон + ≥ 2 малых спутников



New Horizons – миссия НАСА к Плутону
КА запущен в январе 2006 г.
Должен пролететь мимо Плутона в 2015 г.

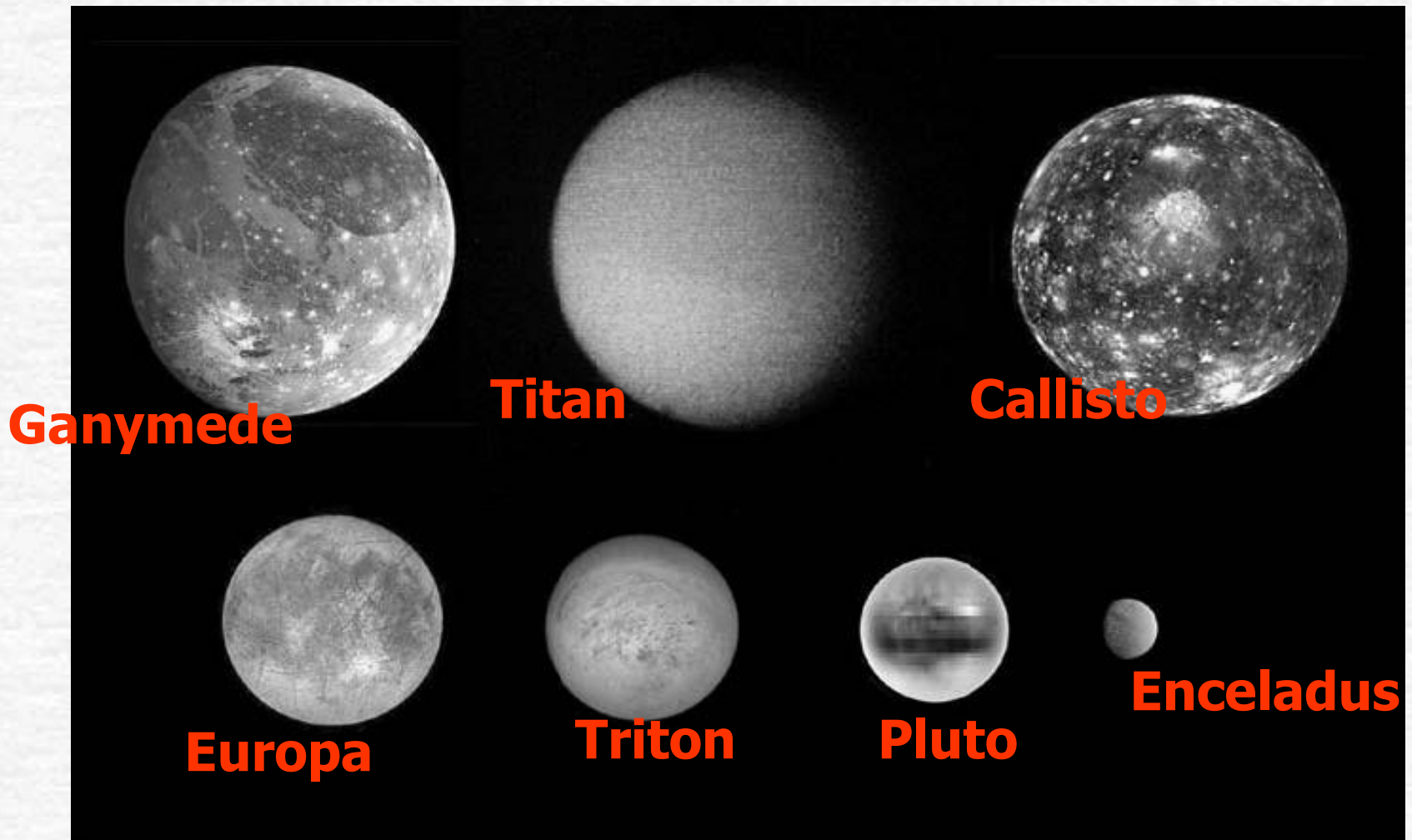
Транснептуновые объекты – Пояс Койпера

Крупнейшие из известных

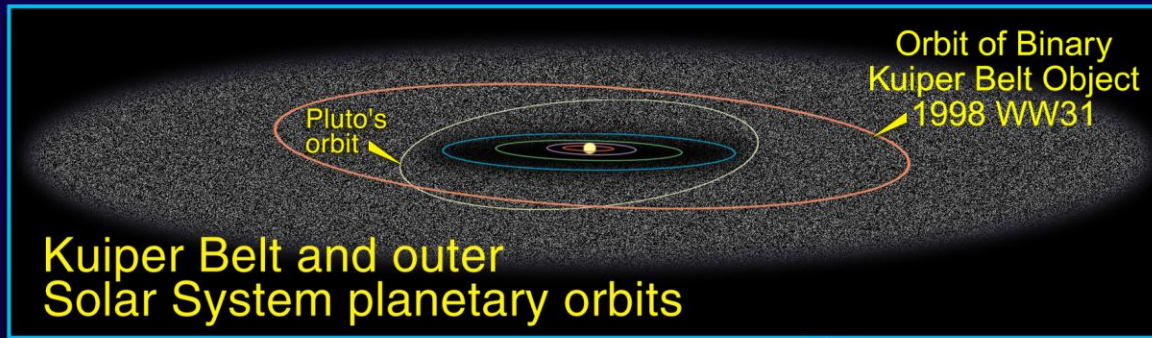


Океаны на телах внешней Солнечной системы -

присутствие воды под ледяной корой приводит к заманчивой гипотезе существования внеземных форм примитивной жизни



Пояс Койпера и облако Оорта



50 а.е. от Солнца

The Oort Cloud
(comprising many
billions of comets)

облако Оорта
–млрд комет,
периферия
Солнечной
системы

50000 –
100000 а.е.
от Солнца

Oort Cloud cutaway
drawing adapted from
Donald K. Yeoman's
illustration (NASA, JPL)

Кометы

Ядро – грязный лед, диаметр обычно несколько км

Кома – пылинки в разреженном газе вокруг ядра

Хвост – пылинки и ионы, сдуваемые солнечным ветром

наблюдаются тогда, когда ледяное тело – ядро кометы, приближается к Солнцу, прогревается и из него начинают выделяться газы и пыль. Последние создают вокруг ядра туманную оболочку (атмосферу), называемую комой и составляющую вместе с ядром голову Кометы. Под действием светового давления, а также вследствие взаимодействия с солнечным ветром газы и пыль уносятся прочь от ядра, образуя хвост.

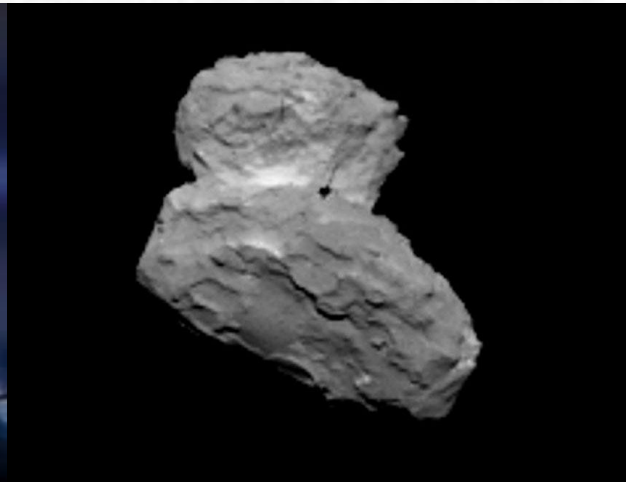


Облако Оорта – источник долгопериодических комет



Комета Чурюмова – Герасименко -

короткопериодическая с периодом обращения 6,6 лет



межпланетная станция "Розетта" приблизилась к комете Чурюмова - Герасименко и сделала свежую фотографию кометы.

исследовательский модуль «Филы» обнаружил на комете органические молекулы - - жизнь могла зародиться на кометах, а затем была занесена на Землю.

A scenic landscape featuring a suspension bridge crossing a large blue lake. The bridge has a white arch support structure. In the background, there are snow-capped mountains and dense evergreen forests. The sky is overcast with grey clouds. In the foreground, there are several evergreen trees, some with bare branches.

СПАСИБО

Thank you for your atte