

*Р.А. УПЕРЧУК*

# Планеты Солнечной системы

Учебные материалы астрономического кружка «Лаборатория космической мысли» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева

# Вместо предисловия

- Презентация создавалась на основе лекций по циклу «Солнечная система», читавшихся на встречах клуба в 2016-2017 гг. Работая с ней, вы получите новые знания или освежите уже имеющиеся по данной теме. Материалы рассчитаны на самый широкий круг пользователей. Распространяется свободно с условием сохранения полной идентичности структуры и компонентов.
- Вы узнаете о происхождении и эволюции планет Солнечной системы и ее спутников, ознакомитесь с физическими условиями в их атмосфере и на поверхности, погрузитесь в самые недра, чтобы понять, чем обусловлено различие карликов и гигантов. Для вас не будет затруднением объяснить существование колец у Сатурна или рассказать, по каким критериям Плутон не удостоился звания планеты.

*Приятного прочтения!*

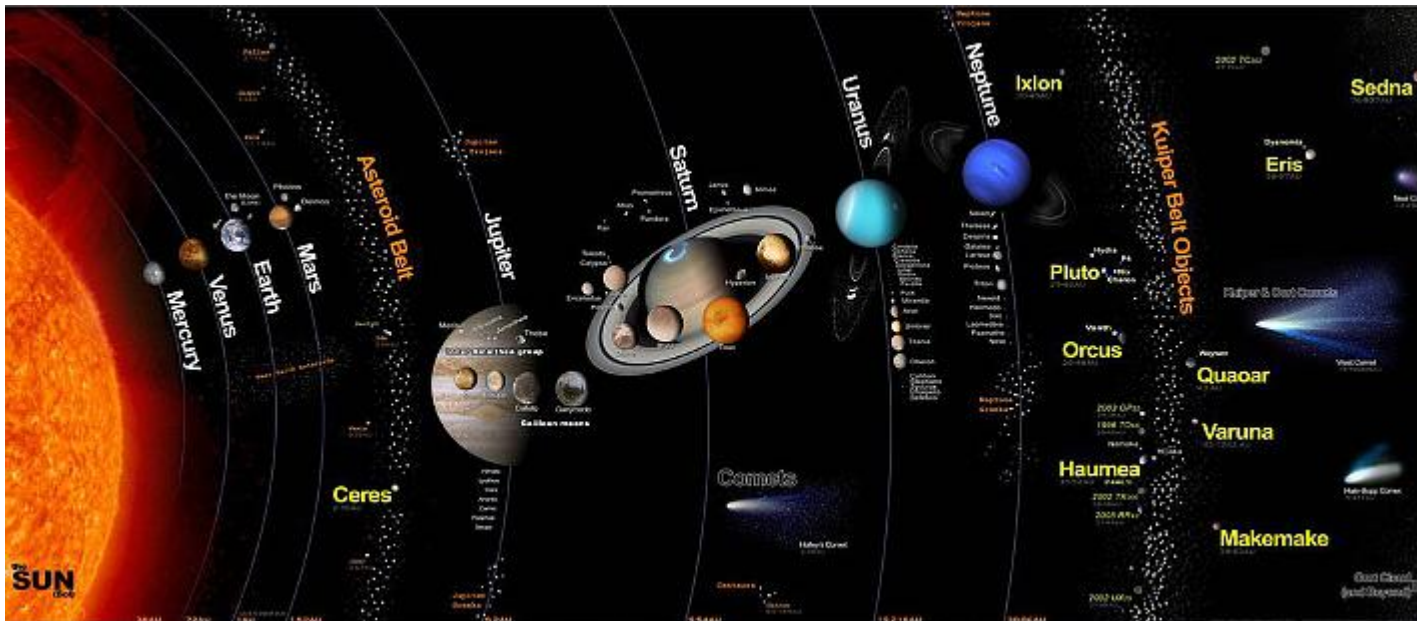
# Содержание

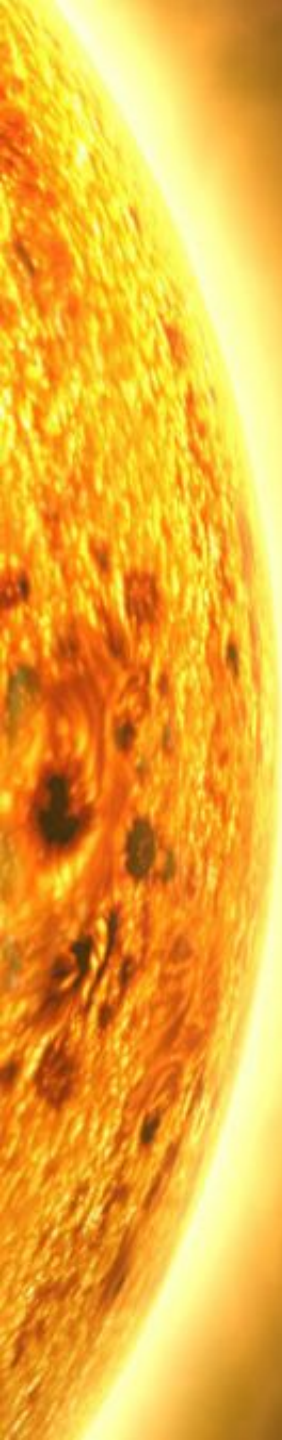
- Лекция 1. Солнечная система. Основные понятия
- Лекция 2. Происхождение и развитие планет Солнечной системы.
- Лекция 3. Геологические процессы на планетах
- Лекция 4. Магнетизм планет
- Лекция 5. Данные о планетах Солнечной системы
- Лекция 6. Малые небесные тела
- Лекция 7. Экзопланеты

# Лекция 1. Солнечная система.

## Основные понятия

- **Планета** — небесное тело, обращающееся вокруг звезды, достаточно массивное для обретения сферической формы и очищения близлежащего пространства от космической пыли, но недостаточно массивное для начала термоядерных реакций в его недрах.
- **Планетная система** — система из звезды и не звездообразных космических объектов (планет, спутников, астероидов, комет, космической пыли), обращающихся вокруг общего центра масс.
- **Солнечная система** — планетная система звезды Солнце.





Меркурий  
Венера  
Земля  
Марс

Юпитер

Сатурн

Уран

Нептун

Планеты

Церера

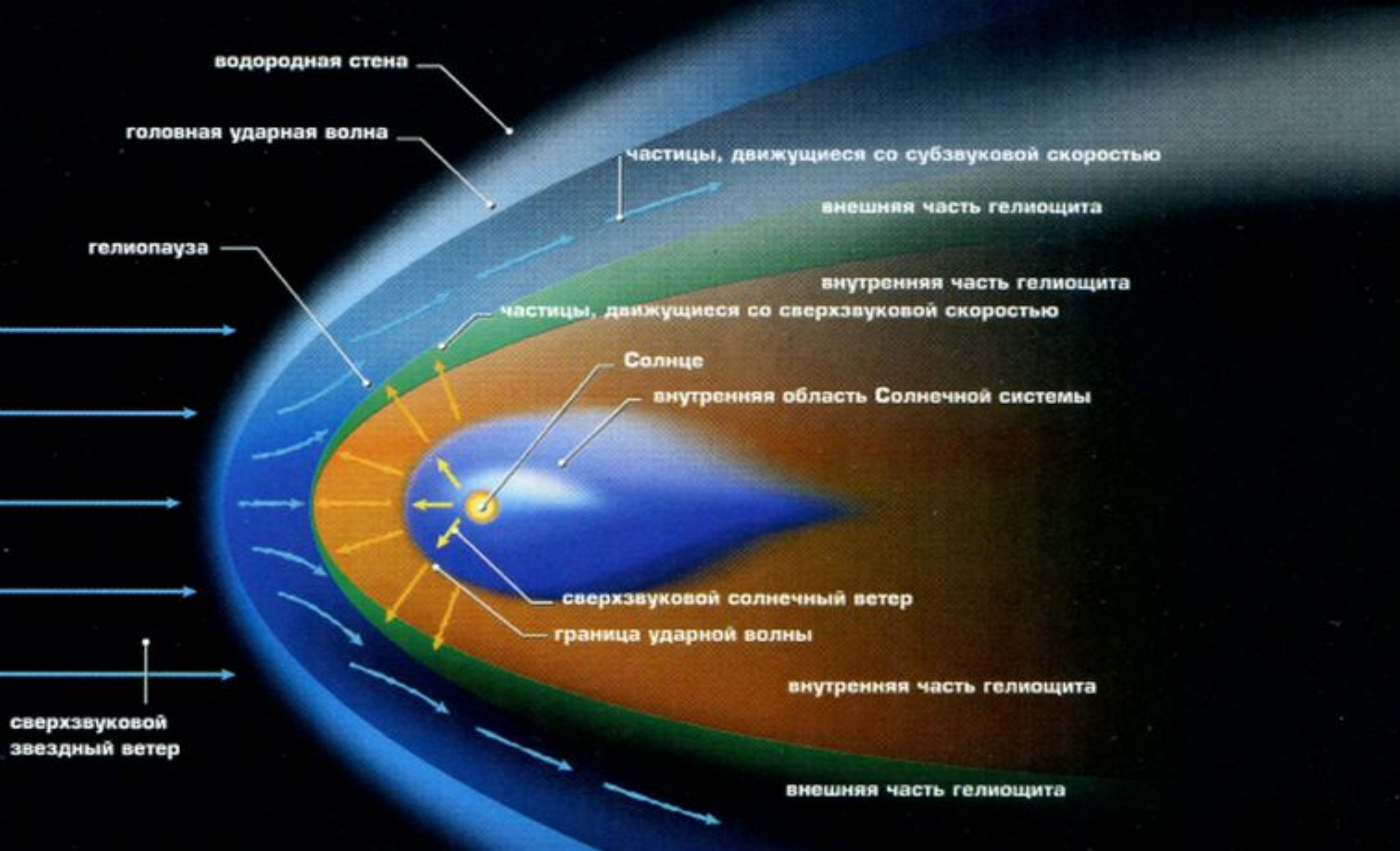
Плутон  
Хаумеа  
Макемаке  
Эрида

Карликовые  
планеты

- **Солнечная система состоит из 8 планет:**
  - *Планеты земной группы / Нижние планеты*
    - Меркурий, Венера, Земля, Марс
  - *Планеты внешней группы / Верхние планеты*
    - Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун
- Планеты также подразделяют на **планеты-карлики** (все планеты земной группы), **газовые гиганты** (Юпитер и Сатурн) и **ледяные гиганты** (Уран и Нептун).
- Для того чтобы космический объект считался планетой, необходимо выполнение **трех критериев**:
  - Объект должен обращаться вокруг звезды, а не иного космического тела;
  - Объект должен обладать достаточной массой для достижения формы гидростатического равновесия (близкой к сферической) под действием гравитации;
  - Объект должен быть гравитационной доминантой и очистить пространство от космической пыли и различных обломков (*именно этому условию не удовлетворяет Плутон*).
- Объекты, близкие к планетам, но не удовлетворяющие всем критериям, называются **карликовыми планетами**.

- **Солнце** — звезда класса желтых карликов галактики Млечный путь.
- **Солнечный ветер** — поток ионизированных частиц (плазмы), истекающих с верхний слоев Солнца (фотосферы). Это же явление для других звезд называется **звездным ветром**.
  - **ВНИМАНИЕ:** Солнечный ветер — это не солнечный **свет**! Свет — поток фотонов.
- **Гелиосфера** — область солнечного пространства, в которой солнечный ветер движется со сверхзвуковой скоростью.
- **Граница ударной волны** — место, где происходит замедление солнечного ветра.
- **Гелиопауза** — граница, вдоль которой уравнивается давление солнечного ветра и давление межзвездного пространства.
- **Головная ударная волна** — граница, где происходит столкновение межзвездной среды с набегающим солнечным ветром.

Все перечисленные понятия нужно знать, чтобы ориентироваться в областях Солнечной системы.



**Центральная черная дыра**

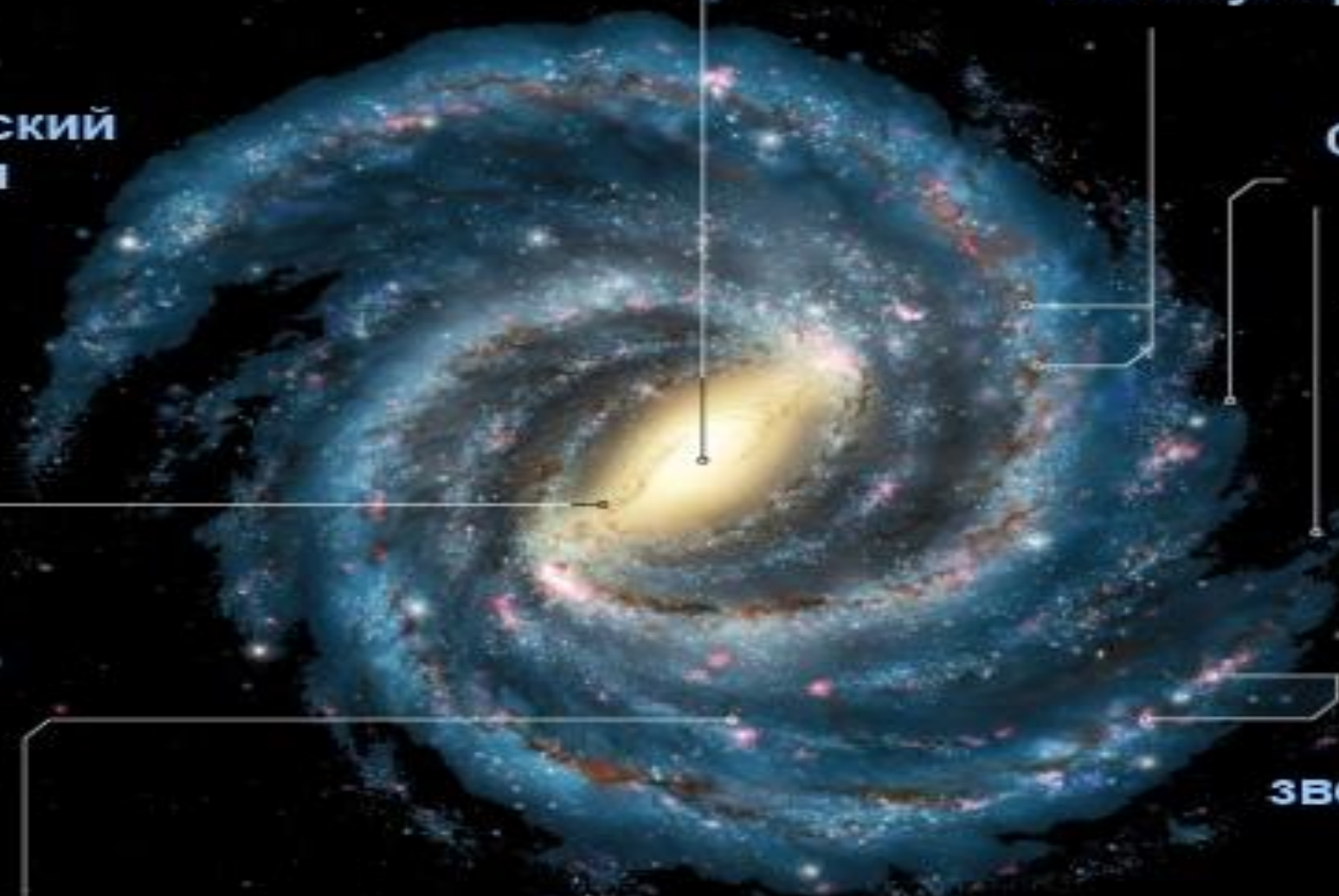
**Молекулярные облака**

**Галактический  
выступ**

**Спиральные  
рукава**

**Регионы  
звздообразования**

**Солнце**



# Лекция 2. Происхождение и развитие планет Солнечной системы

- Изначально Солнце было окружено **газопылевым диском**. Под действием гравитационных сил и относительного движения стали возникать **флуктуации вещества** и его **аккреция** (слияние в более крупные элементы);
- Аккреция происходила в три стадии: **скоротечная** (образуются малые объекты); **олигархическая** (крупные объекты в сгустках начинают увеличивать свою массу за счет малых); **аккреция слияния** (орбиты олигархов пересекаются, они сталкиваются, и возникают зародыши планет, **планетезимали**);
- Вещество находилось в постоянном движении. В процессе образования планет часть его перешла в твердое состояние в пределах **снеговой линии (линии льда)**, а часть осталась за ее пределами в газообразном состоянии.

- Из газообразного вещества формируются **газовые гиганты**, Юпитер и Сатурн. Затем в той же области образуются Уран и Нептун, а на свои современные орбиты они перешли под действием **миграции планет** (физические условия не позволяют формироваться **ледяным гигантам** там, где они находятся сейчас);
- Газовые гиганты обзаводятся **спутниками**, одновременно под их гравитационным влиянием и влиянием Солнца формируются **планеты земной группы**. Формирование твердой планеты — более сложный процесс.
- Планеты земной группы расчищают пространство: часть вещества они поглощают, наращивая массу, а часть сгорает на Солнце. *Это объясняет, почему у планет земной группы значительно меньше спутников, чем у планет внешней группы.*

Не все так просто! Для формирования газового гиганта необходимо вязко-твердое ядро, поэтому предполагается, что планеты этой группы также мигрировали за снеговую линию. К тому же, почему в газовых гигантах сосредоточен максимум момента импульса Солнечной системы? Теория требует доработок.

# Вопрос — ответ

- Почему газовые и ледяные планеты большие?

*Потому, что: 1) у газов меньшая плотность, следовательно, больший объем; 2) за снеговой линией больше вещества, чем внутри нее; 3) отдаленность от звезды мешает кристаллизации; 4) чем больше планета, тем проще ей удерживать легкие газы и захватывать новые с помощью гравитации.*

- Почему планеты имеют сферическую или эллипсоидную форму?

*Это форма, соответствующая **принципу наименьшей энергии**, которой стремится обладать вещество планеты.*

- Почему планеты движутся по эллиптическим орбитам?

*Это результат взаимодействия отдельных частей газопылевого диска и совпадения параметров. При интегрировании дифференциальных уравнений движения решением получается семейство конических сечений в полярных координатах (эллипс, парабола или гипербола).*

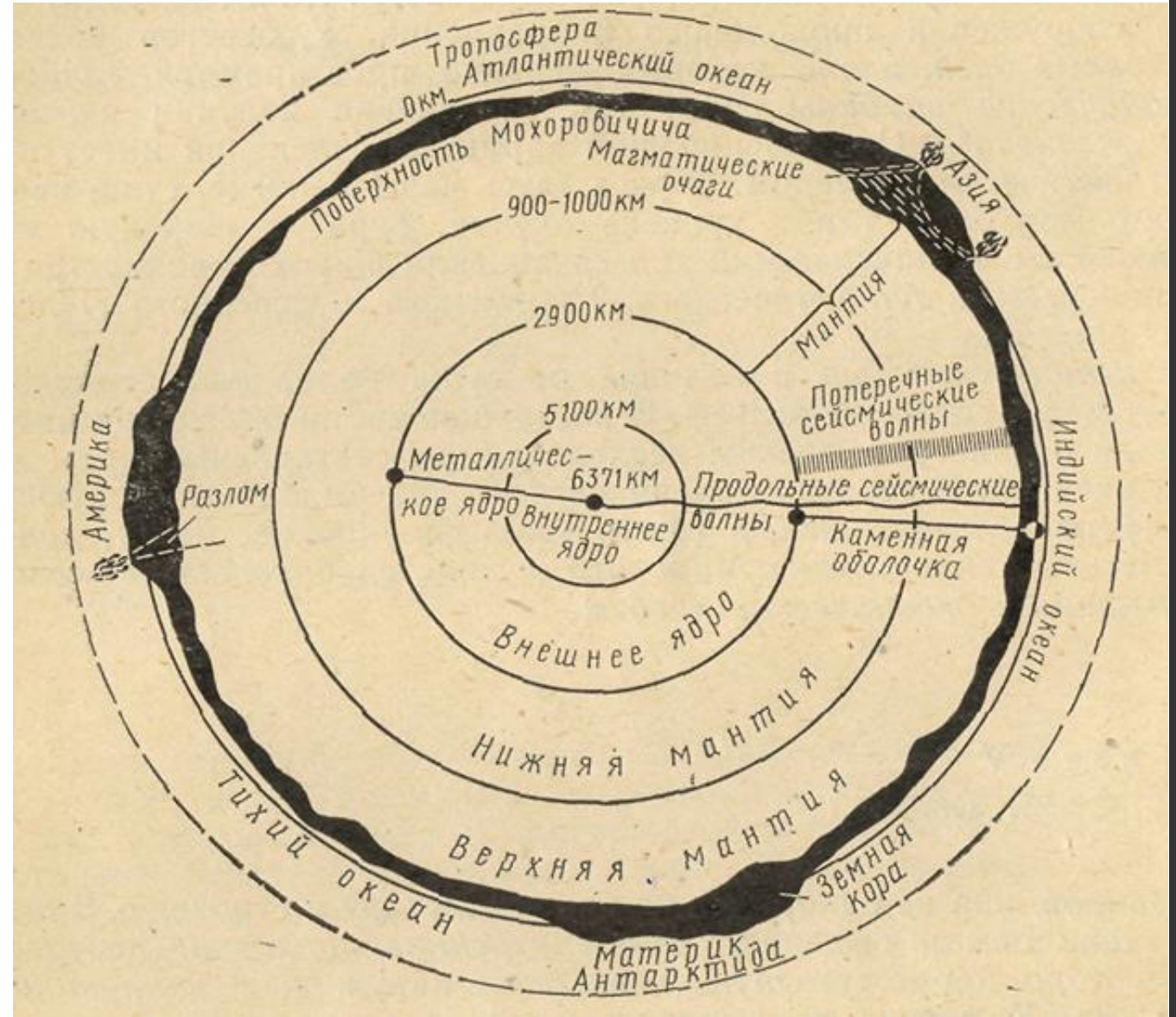
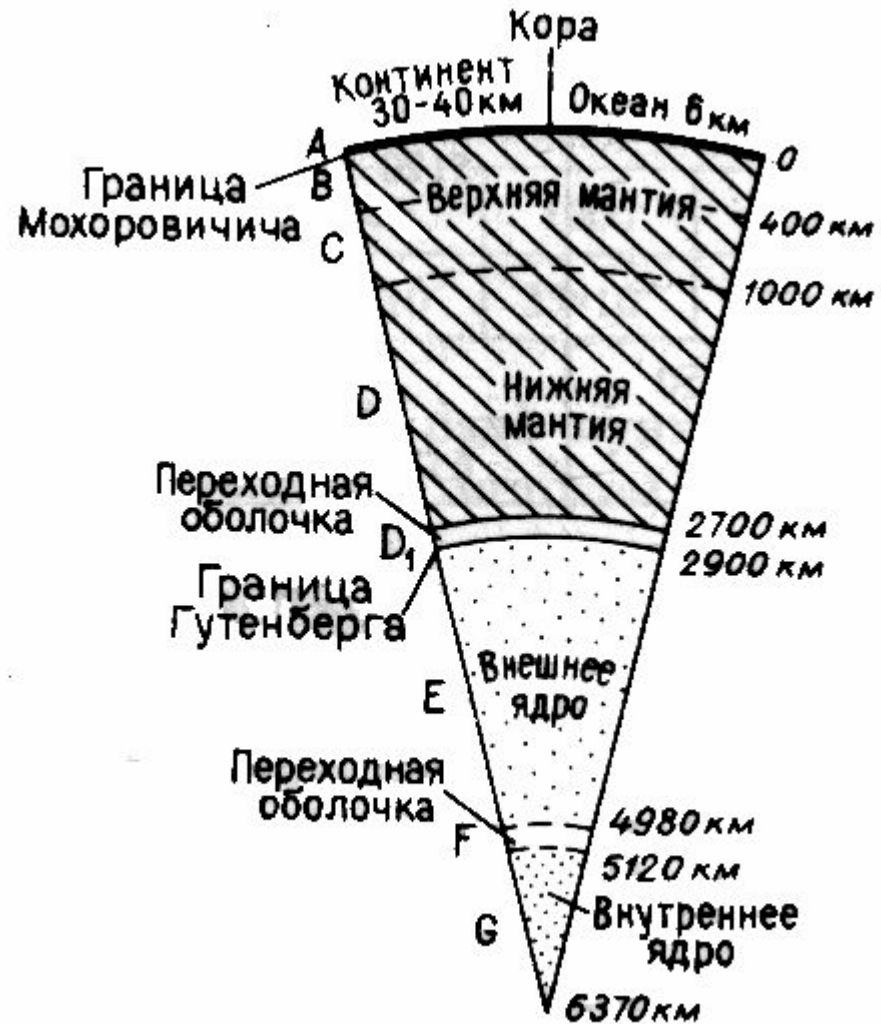
- Почему планеты движутся? Могут ли они остановиться?

*Нет, не могут, их движение обусловлено **законом сохранения импульса** (поступательное, вокруг Солнца) и **момента импульса** (вращательное, вокруг своей оси). Сил сопротивления среды в космосе нет, поэтому диссипации происходить не может.*

# Лекция 3. Геологические процессы на планетах

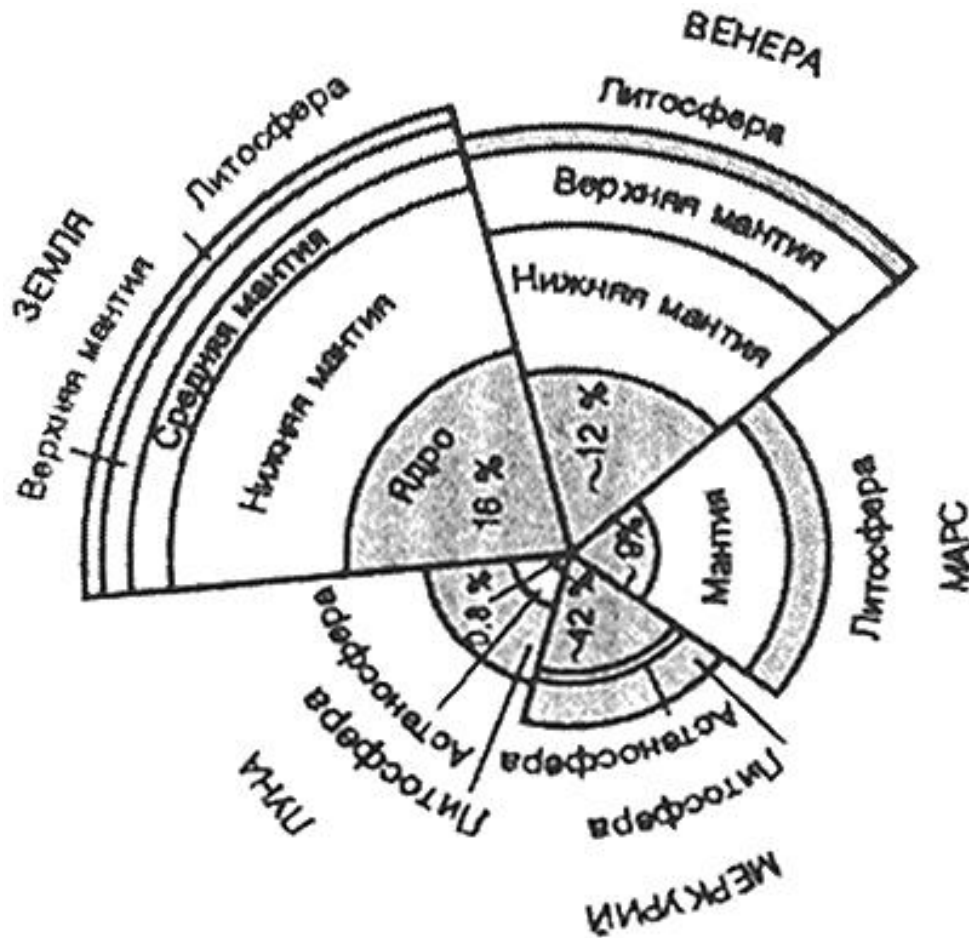
- Вещество планеты по температуре, давлению и другим физическим условиям разделяют на **ядро (внутреннее и внешнее), мантию (верхнюю, среднюю и нижнюю) и кору**. На следующих слайдах вы ознакомитесь с внутренним строением планет.
- Более тяжелое вещество стремится опуститься вниз, а более легкое — подняться вверх. На этом основана **гравитационная дифференциация вещества**.
- Нагретое вещество как менее плотное стремится подняться вверх, а более холодное — опуститься вниз. Это объясняет возникновение **термического градиента**.
- Если из области с более высоким давлением вещество перемещается туда, где давление ниже, то это **барический градиент**.
- Эти три явления, а также **механическое и химическое взаимодействие** с образованием горных пород ответственны за тектонические движения, сейсмические и вулканические процессы.

# Внутреннее строение Земли



# Внутреннее строение планет земной группы

- ✓ Железно-никелевое ядро;
- ✓ Силикатная мантия;
- ✓ Базальтовая кора.



Земля отличается высоким содержанием гранитов в коре, кора делится на трехслойную **материковую** (*гранитный слой, слой осадочных пород и базальтовый слой*) и двухслойную **океаническую** (отсутствует гранитный слой).

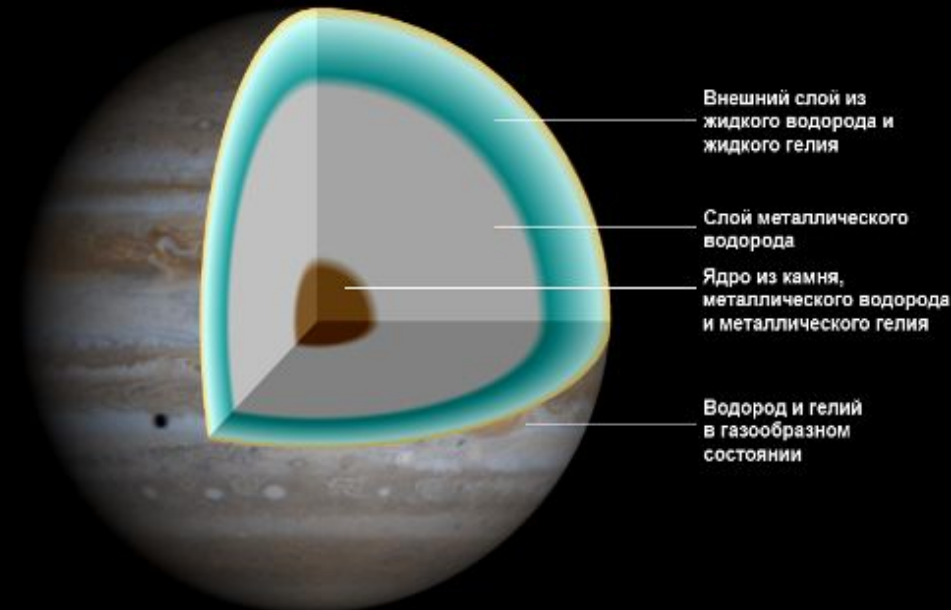
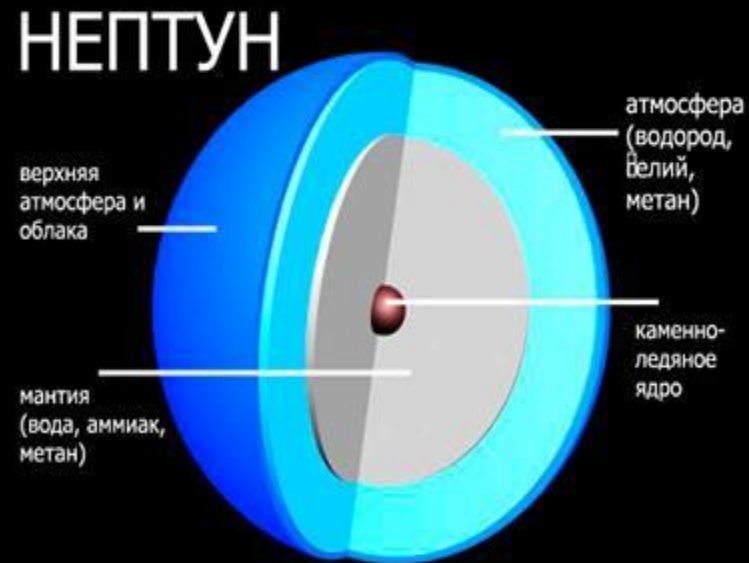
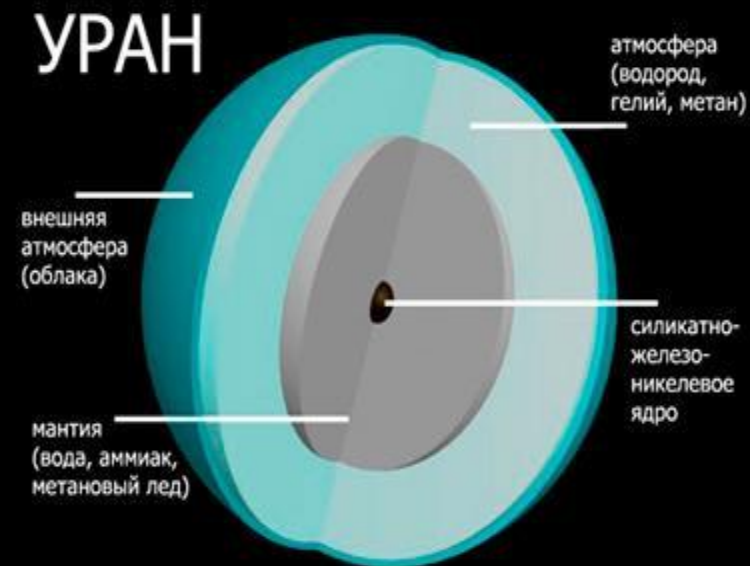
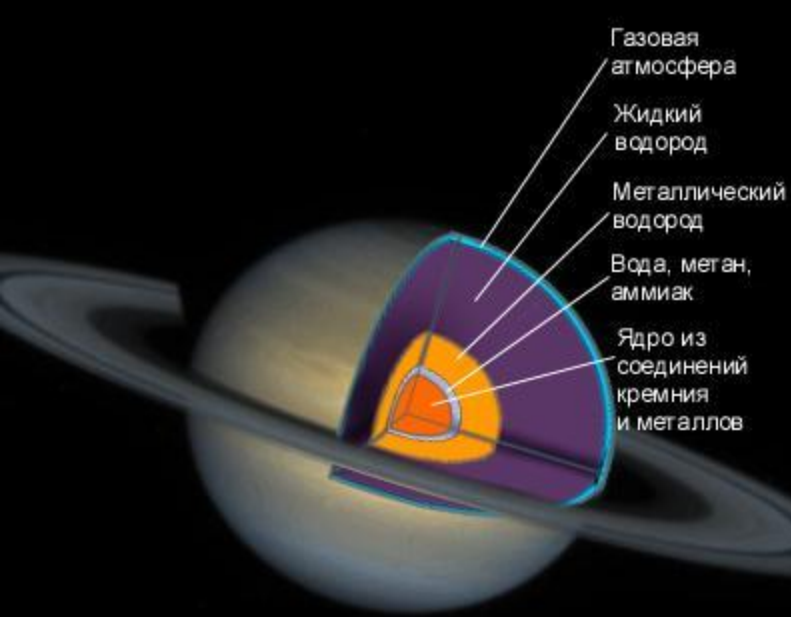
**Граница Моховичича** — между корой и мантией.

**Граница Гутенберга** — между мантией и ядром.

**Рельеф** планет формируется под действием **эндогенных** (тектонические, вулканические и сейсмические явления) и **экзогенных** (падение метеоритов и астероидов) процессов.

# Внутреннее строение планет внешней группы

- ✓ Газовые и ледяные гиганты не имеют планетарной коры;
- ✓ Их атмосфера очень нестабильна, в ней бушуют вихри и происходят другие мощные метеорологические явления;
- ✓ Газовые гиганты излучают больше тепла, чем получают от Солнца. Общепринятой теории этого явления пока нет.



# Вопрос — ответ

- Ограничена ли по времени тектоника планет?

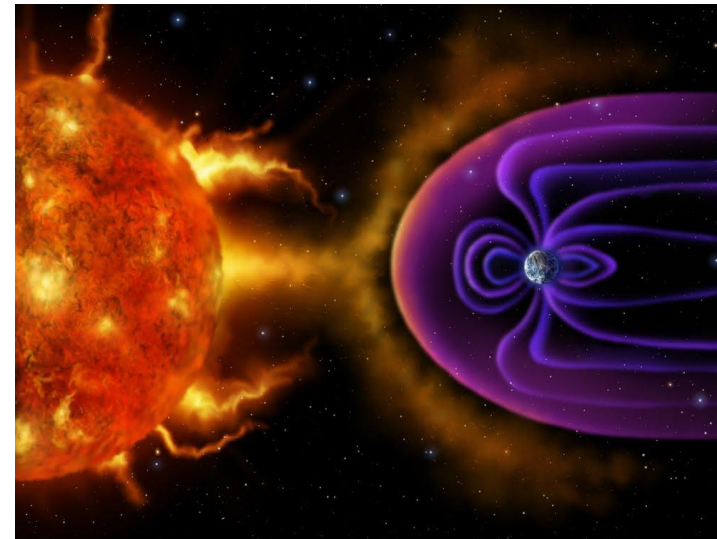
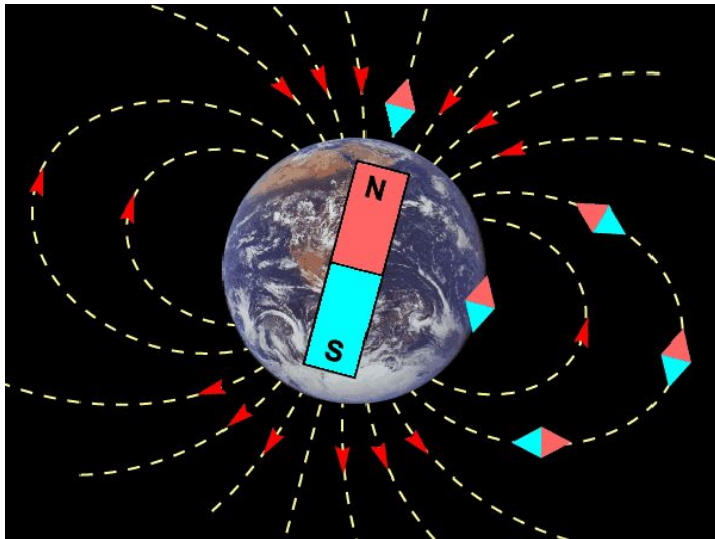
*Да, когда полностью завершится гравитационная дифференциация, то не будет ни землетрясений, ни извержений вулканов.*

- Под действием каких сил происходят метеорологические процессы?

*Термический и барический градиент, а также действие силы Кориолиса способствуют образованию постоянных ветров, циклонов и антициклонов.*

# Лекция 4. Магнетизм планет

- Магнитное поле планет создается в результате **эффекта магнитогидродинамического динамо**, т.е. конвекционных потоков вещества в жидком проводящем ядре. Постоянное магнитное поле невозможно ввиду нахождения **ферромагнетиков** в условиях выше **точки Кюри**.
- Предположительно **источником магнетизма** за время существования нашей планеты могло быть **сложное сочетание различных механизмов генерирования магнитного поля**: первичная инициализация поля от древнего столкновения с планетоидом; не тепловая конвекция различных фаз железа и никеля во внешнем ядре; выделения оксида магния из охлаждающегося внешнего ядра; приливное влияние Луны и Солнца и т.д.



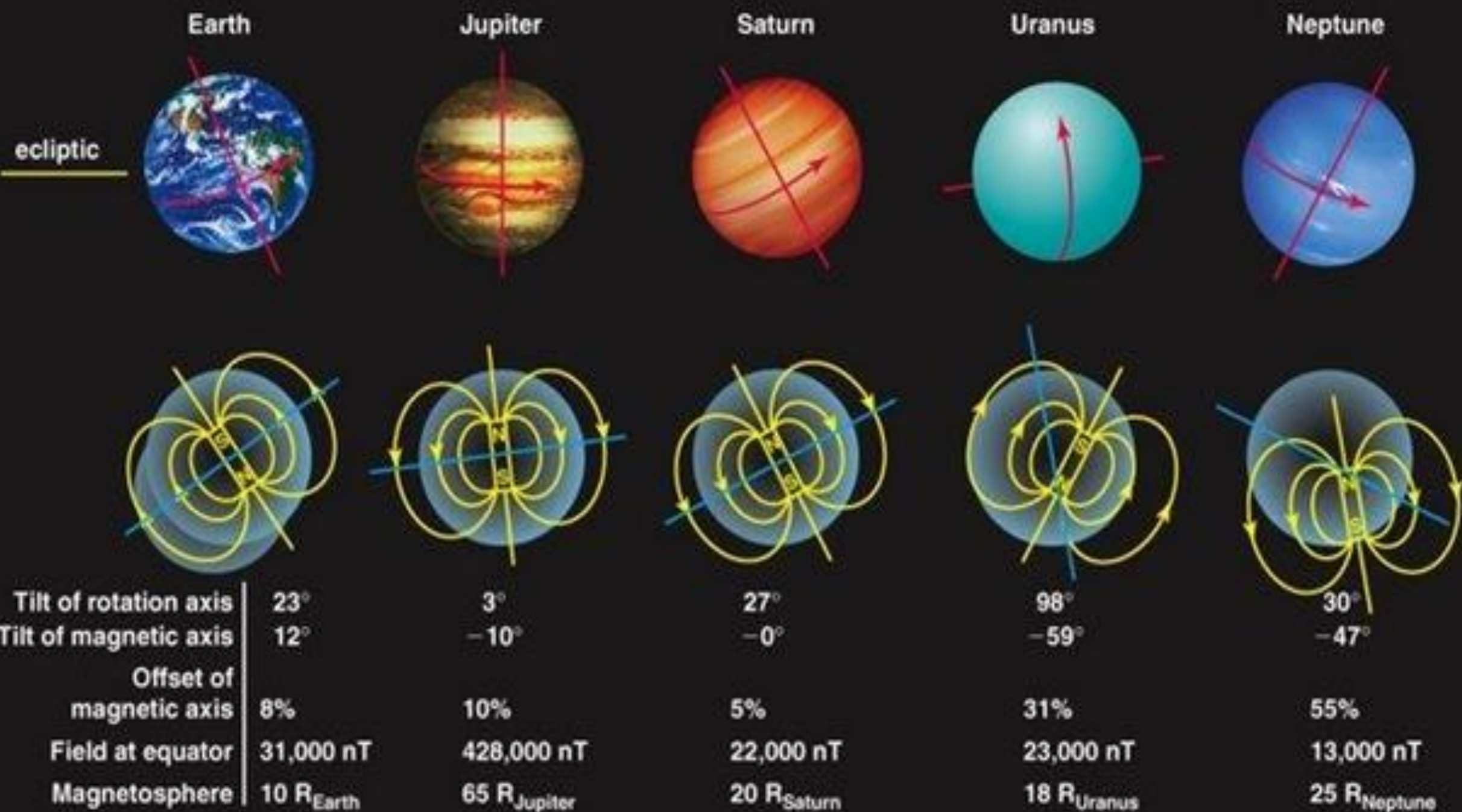
# Магнитное поле Земли

- Состоит из главного поля, полей мировых аномалий и внешнего поля. Земля имеет **дипольное магнитное поле**;
- **Главное поле** по большей части расположено в жидком ядре. **Поля мировых аномалий** состоят из территориальных концентраций намагниченных пород в земной коре. **Внешнее поле** образуется внешними источниками, например, ионизацией верхних слоев атмосферы.
- **Геомагнитный полюс** — точка пересечения линии диполя с поверхностью планеты.
- **Геомагнитные бури** — изменения магнитного поля, связанные по большей части с солнечной активностью.
- **Инверсия магнитного поля** (изменение полюсов местами) — случайный, а не периодический процесс.
- **Магнитосфера планеты** — область пространства, где доминирует магнитное поле планеты, а не звезды.
- **Плазмосфера** — часть магнитосферы планеты, в которой происходит удержание плазмы.
- **Магнитопауза** — область, где давление солнечного ветра уравнивается с давлением собственного магнитного поля планеты.



# Магнитное поле остальных планет

- **Магнитное поле Меркурия** генерируется по тому же механизму, что магнитное поле Земли.
- **Магнитное поле Венеры** значительно слабее земного в силу малой скорости прецессии оси и угловой скорости вращения (а именно с ними связана напряженность магнитного поля планеты), а также в связи с практически отсутствующей тектоникой плит и конвекцией во внешнем ядре.
- **Марс не имеет магнитного поля**, но обладает остаточной намагниченностью. Согласно гипотезе, его магнитное поле исчезло в связи с отвердеванием ядра.
- **Механизм динамо у газовых гигантов** такой же, но в роли генератора выступает турбулентное движение металлического водорода, а не железа.
- **У Урана и Нептуна** квадрупольное магнитное поле (по 2 северных и 2 южных полюса)

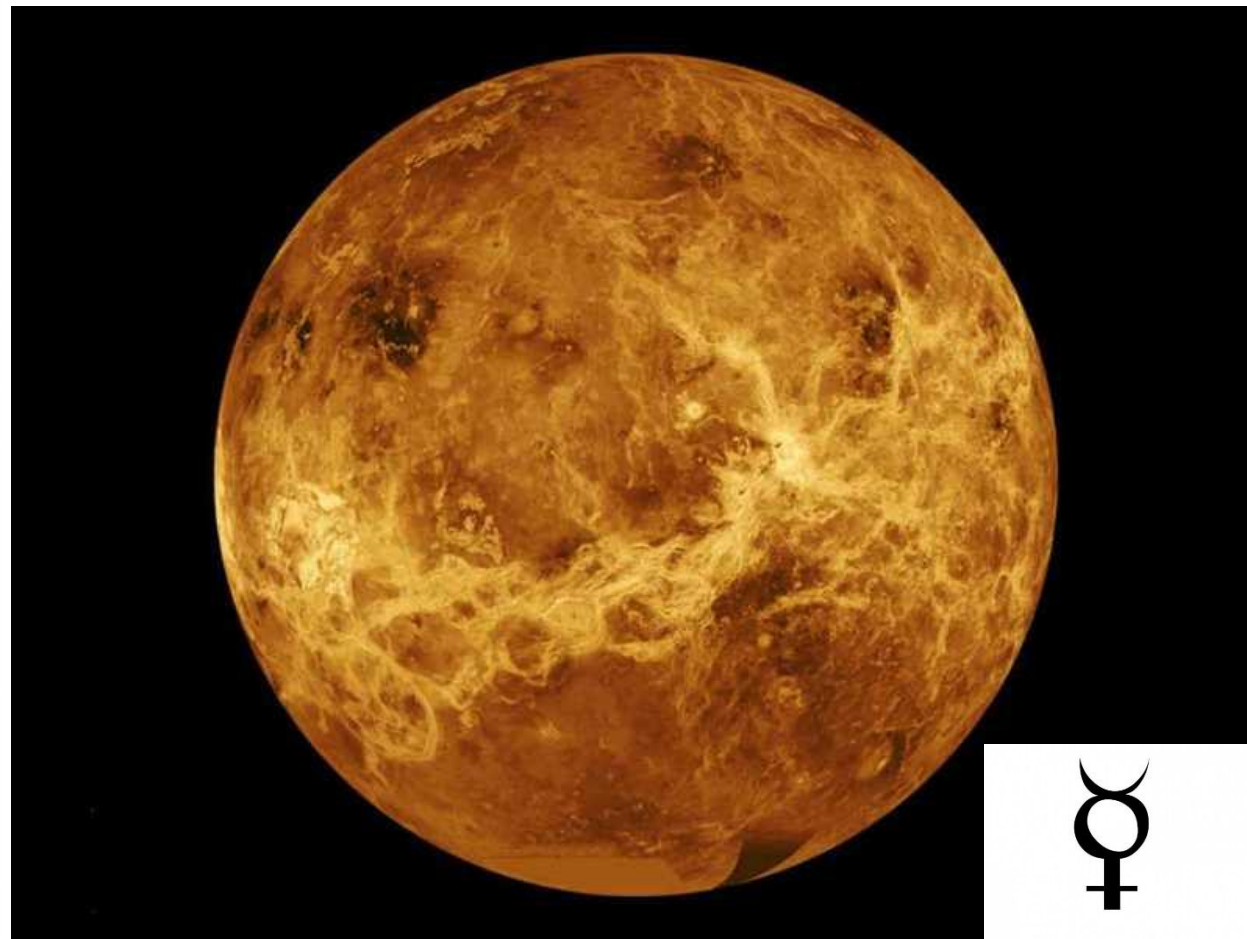


# Лекция 4. Данные о планетах Солнечной системы

// Это не лаги, просто нужно открыть следующий слайд.

# Меркурий

|                                            |                                                        |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)               | Афелий — 0,467<br>Перигелий — 0,308<br>Средняя — 0,388 |
| Эксцентриситет орбиты                      | 0,206                                                  |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                  | 7                                                      |
| Средняя ОС (км/с)                          | 47,36                                                  |
| Сидерический период обращения (дней)       | 87,97                                                  |
| Минимальная видимая ЗВ                     | -1,9                                                   |
| Масса (кг)                                 | $3,302 \cdot 10^{23}$                                  |
| Экваториальный радиус (км)                 | 2440                                                   |
| Полярный радиус (км)                       | 2440                                                   |
| Сжатие                                     | 0                                                      |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )     | 5,43                                                   |
| Ускорение силы тяжести (м/с <sup>2</sup> ) | 3,71                                                   |
| Первая КС (км/с)                           | 3,1                                                    |
| Вторая КС (км/с)                           | 4,25                                                   |
| Период вращения вокруг своей оси (дней)    | 58,65                                                  |
| Наклонение экватора к орбите (град)        | 2                                                      |
| Альбедо                                    | 0,10                                                   |
| Число спутников                            | 0                                                      |



**Ближайшая к Солнцу и самая маленькая планета Солнечной системы.** Напряженность МП в 100 раз меньше земного. Из-за того, что **ось планеты почти перпендикулярна плоскости обращения**, на ней **отсутствует смена времен года. Приливное воздействие звезды** привело к тому, что меркурианские сутки составляют  $\frac{2}{3}$  меркурианского года. Из-за этого долго считалось, что **Меркурий повернут к Солнцу всегда одной стороной**. Из-за близости звезды перигелий постепенно смещается, это является результатом эффектов ОТО (аномальная прецессия). Атмосфера, образованная преимущественно  $O_2$  (42%), Na (29%) и  $H_2$  (22%), чрезвычайно разрежена (давление в  $10^{15}$  раз меньше земного).

Концентрация Fe в ядре у Меркурия наибольшая среди всех планет Солнечной системы. Поверхность планеты имеет множество кратеров (рис. 2.1.1).

Меркурий непосредственно наблюдали на небе еще ассирийцы, а затем в телескоп Галилей и Скиапарелли. В 20-21 веках с новыми методами изучения знания о планете расширились, но Меркурий все же наименее изучен из всей внутренней группы.

# Венера

|                                            |                                                        |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)               | Афелий — 0,728<br>Перигелий — 0,718<br>Средняя — 0,723 |
| Эксцентриситет орбиты                      | 0,007                                                  |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                  | 3,39                                                   |
| Средняя ОС (км/с)                          | 35,02                                                  |
| Сидерический период обращения (дней)       | 224,7                                                  |
| Минимальная видимая ЗВ                     | -4,4                                                   |
| Масса (кг)                                 | $4,868 \cdot 10^{24}$                                  |
| Экваториальный радиус (км)                 | 6052                                                   |
| Полярный радиус (км)                       | 6052                                                   |
| Сжатие                                     | 0                                                      |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )     | 5,24                                                   |
| Ускорение силы тяжести (м/с <sup>2</sup> ) | 8,88                                                   |
| Первая КС (км/с)                           | 7,356                                                  |
| Вторая КС (км/с)                           | 10,22                                                  |
| Период вращения вокруг своей оси (дней)    | -243                                                   |
| Наклонение экватора к орбите (град)        | 177,3                                                  |
| Альбедо                                    | 0,65                                                   |
| Число спутников                            | 0                                                      |



**Венера — вторая планета от Солнца, третий по яркости небесный объект после Солнца и Луны.** По размерам и химическому составу она схожа с Землей, однако условия на ней значительно отличаются.

**Атмосфера самая плотная среди внутренней группы,** облака  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{SO}_2$  полностью покрывают поверхность планеты. Атмосферное давление на поверхности в 92 раза больше земного.

**Венера вращается вокруг своей оси с востока на запад,** если наблюдать от северного полюса мира, т.е. в направлении, противоположном характерному для остальных планет.

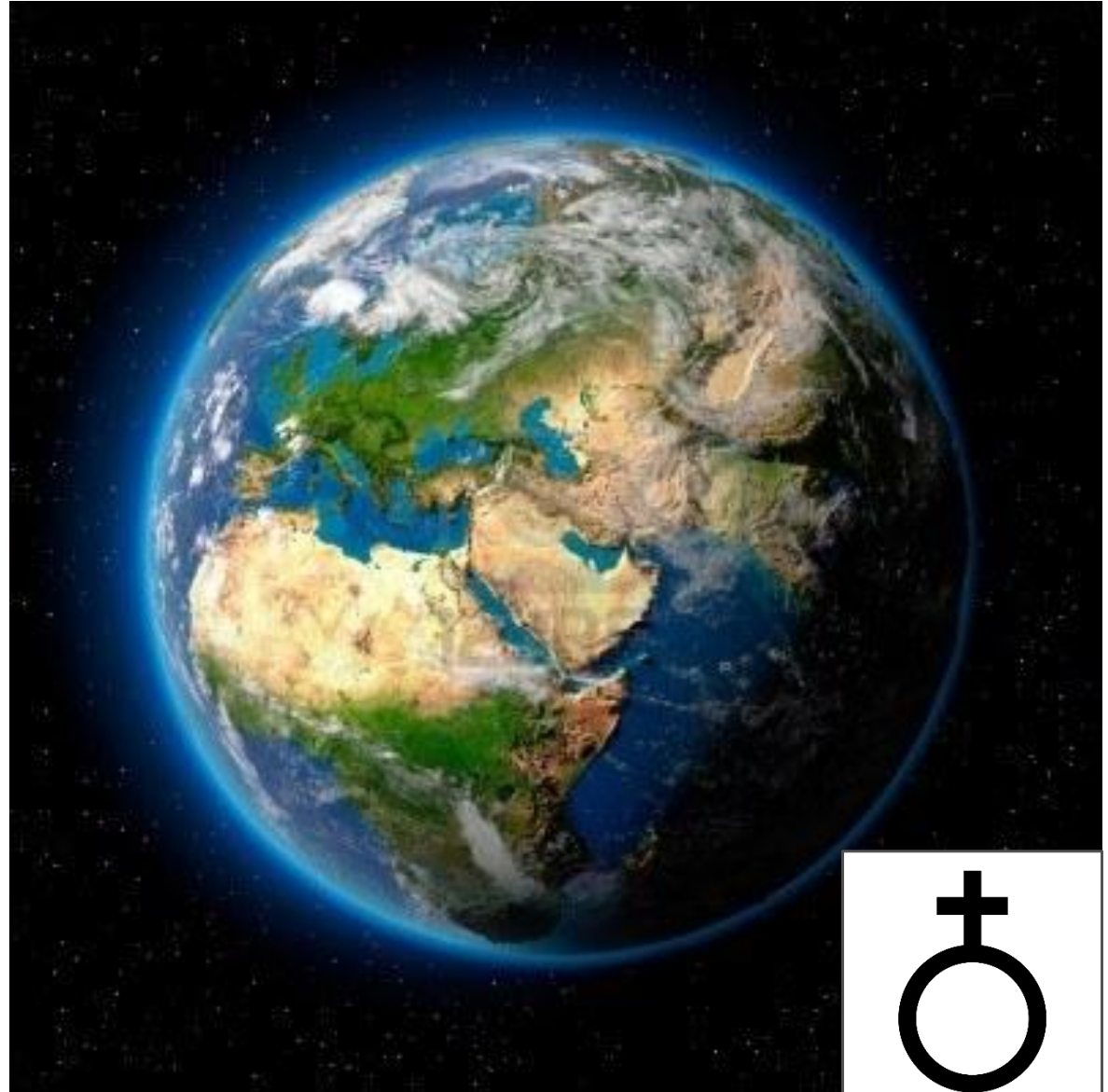
Поверхность планеты покрыта равнинами и горами вулканического происхождения, число кратеров незначительно по сравнению с Меркурием или Луной, т.к. астероиды дотла сгорают в плотной атмосфере.

Первые сведения о Венере были оставлены вавилонскими астрономами. В Новое время многие ученые наблюдали ее в телескопы, а в 20 веке к ней направлялись космические аппараты серии «Венера» (СССР), «Маринер» и «Пионер-Венера» (США), собравшие большую часть известных данных об этой планете.

*Стоит отметить, что Венера представляет интерес с точки зрения **терраформирования**, т.е. искусственного создания на планете земных условий для человеческого использования. Венеру преобразовать сложнее, чем Марс, но весьма выгоднее по физическим условиям.*

# Земля

|                                            |                                                      |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)               | Афелий — 1,017<br>Перигелий — 0,983<br>Средняя — 1,0 |
| Эксцентриситет орбиты                      | 0,017                                                |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                  | 0                                                    |
| Средняя ОС (км/с)                          | 29,76                                                |
| Сидерический период обращения (дней)       | 365,24                                               |
| Масса (кг)                                 | $5,974 \cdot 10^{24}$                                |
| Экваториальный радиус (км)                 | 6378                                                 |
| Полярный радиус (км)                       | 6356                                                 |
| Сжатие                                     | 0,0034                                               |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )     | 5,515                                                |
| Ускорение силы тяжести (м/с <sup>2</sup> ) | 9,81                                                 |
| Первая КС (км/с)                           | 7,9                                                  |
| Вторая КС (км/с)                           | 11,2                                                 |
| Период вращения вокруг своей оси (ч)       | 23,93                                                |
| Наклонение экватора к орбите (град)        | 23,45                                                |
| Альбедо                                    | 0,37                                                 |
| Температура на поверхности (К)             |                                                      |
| Число спутников                            | 1                                                    |



**Земля — третья планета от Солнца, единственная в Солнечной системе, где имеется жизнь.** Среди внутренней группы она имеет наибольшую плотность, массу и размеры. Ее единственный естественный спутник — Луна, а искусственных более восьми тысяч.

**Значительный наклон оси к ПЭ является причиной смены времен года.** Так как оборот вокруг своей оси планета совершает меньше чем за 24 часа, оставшееся время объединяют в сутки, прибавляемые каждый 4 год, называемый високосным.

Около 70% поверхности Земли составляют 4 океана: Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Ими, а также морями, реками и озерами образована водная оболочка, гидросфера. Оставшаяся часть — 6 континентов: Евразия, Африка, Северная и Южная Америка, Австралия и Антарктида.

Атмосфера, имеет слоистое строение: **тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, ионосфера и экзосфера**, различающиеся физическими параметрами.

Растения, животные, грибы и бактерии образуют биосферу; они значительно влияют на рельеф, состав атмосферы и гидросферы, участвуют в кругообороте веществ.

# Марс

|                                                        |                                                     |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)                           | Афелий — 1,67<br>Перигелий — 1,38<br>Средняя — 1,53 |
| Эксцентриситет орбиты                                  | 0,093                                               |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                              | 1,8                                                 |
| Средняя ОС (км/с)                                      | 24,13                                               |
| Сидерический период обращения (дней)                   | 686,9                                               |
| Минимальная видимая ЗВ                                 | -2,0                                                |
| Масса (кг)                                             | $6,419 \cdot 10^{23}$                               |
| Экваториальный радиус (км)                             | 3397                                                |
| Полярный радиус (км)                                   | 3382                                                |
| Сжатие                                                 | 0,0052                                              |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )                 | 3,94                                                |
| Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с <sup>2</sup> ) | 3,86                                                |
| Первая КС (км/с)                                       | 3,546                                               |
| Вторая КС (км/с)                                       | 5,0                                                 |
| Период вращения вокруг своей оси (ч)                   | 24,62                                               |
| Наклонение экватора к орбите (град)                    | 25,19                                               |
| Альбедо                                                | 0,15                                                |
| Число спутников                                        | 2                                                   |

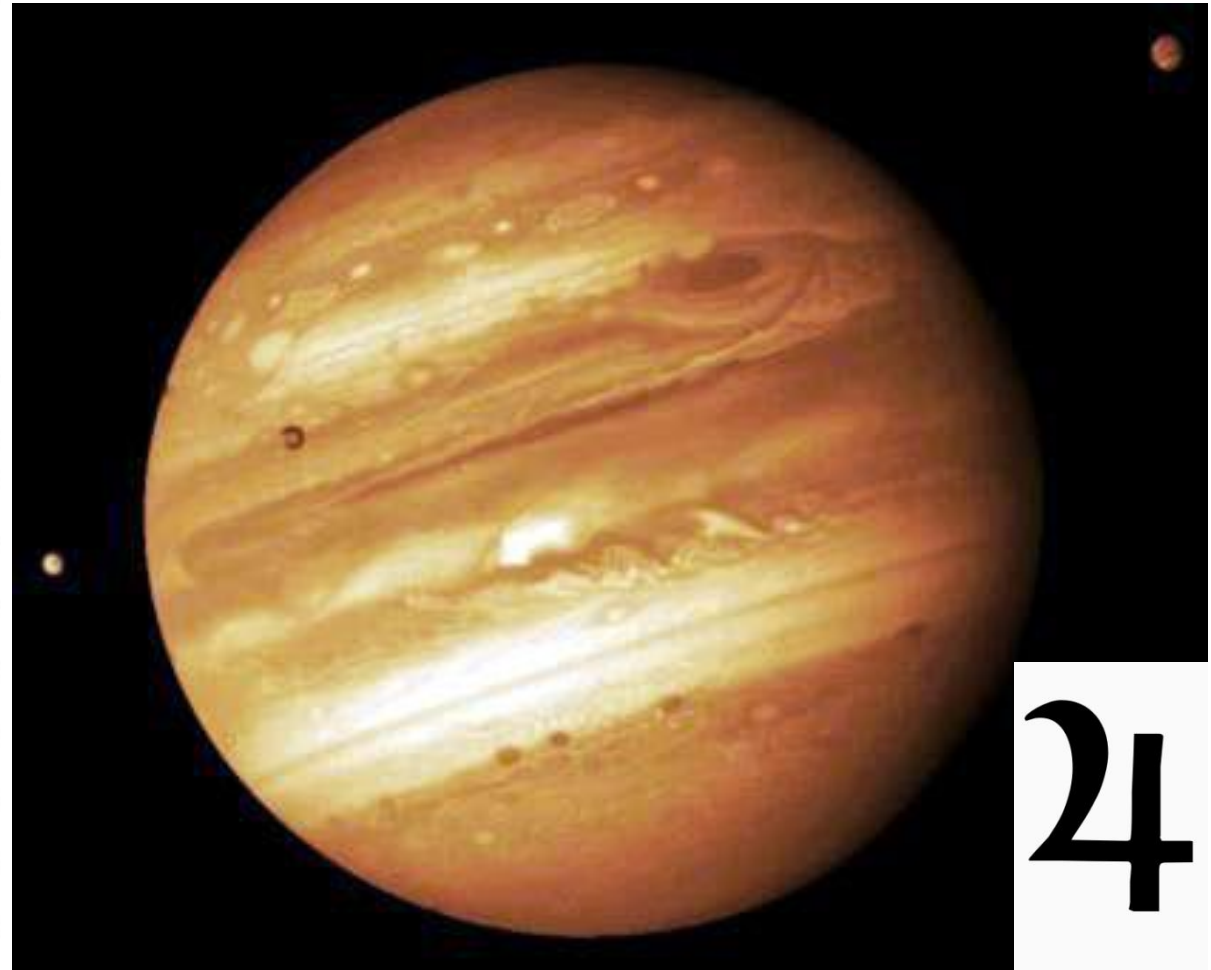


**Марс — четвертая планета Солнечной системы.** У него два спутника: Фобос и Деймос. Марс имеет аналогичные земным период вращения и смену времен года, которые сильнее выражены, чем на Земле.

Рельеф поверхности разнообразен: горы, равнины, долины и метеоритные кратеры. На полюсах имеются ледниковые шапки. **Поверхность окрашена в красный цвет вследствие повышенного содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в коре.** Первые упоминания о Марсе оставили древнеегипетские астрономы. Среди астрономов докосмической эры, проводивших телескопические наблюдения Марса в этот период, наиболее известны Скиапарелли, Персиваль Lowell, Слайфер, Антониади, Барнард, Жарри-Делож, Л. Эдди, Тихов, Вокулёр. В новейшее время к планете отправлялись космические аппараты серии «Маринер», «Викинг» (США), «Фобос», «Марс» (СССР).

# Юпитер

|                                            |                                                     |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)               | Афелий — 5,46<br>Перигелий — 4,95<br>Средняя — 5,21 |
| Эксцентриситет орбиты                      | 0,048                                               |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                  | 1,31                                                |
| Средняя ОС (км/с)                          | 13,07                                               |
| Сидерический период обращения (лет)        | 11,857                                              |
| Минимальная видимая ЗВ                     | -2,7                                                |
| Масса (кг)                                 | $1,899 \cdot 10^{27}$                               |
| Экваториальный радиус (км)                 | 71490                                               |
| Полярный радиус (км)                       | 66850                                               |
| Сжатие                                     | 0,0648                                              |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )     | 1,33                                                |
| Ускорение силы тяжести (м/с <sup>2</sup> ) | 23,95                                               |
| Первая КС (км/с)                           | 43,0                                                |
| Вторая КС (км/с)                           | 61,0                                                |
| Период вращения вокруг своей оси (ч)       | 9,925                                               |
| Наклонение экватора к орбите (град)        | 3,12                                                |
| Альбедо                                    | 0,52                                                |
| Число спутников                            | 69                                                  |



24

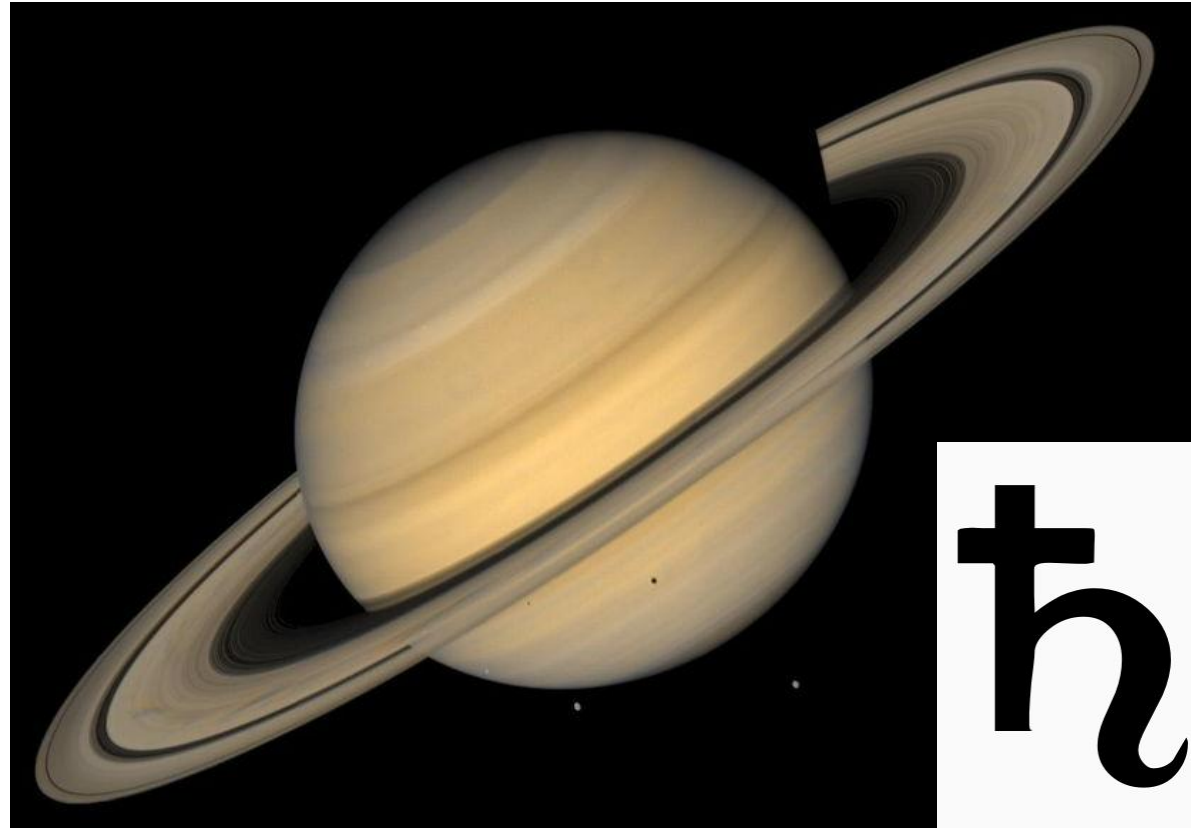
**Юпитер — крупнейшая планета Солнечной системы.** Его масса превышает суммарную массу остальных планет, вместе взятых. **Юпитер — второй по мощности радиоисточник Солнечной системы (после Солнца).**

Атмосфера Юпитера состоит из трех слоев: верхнего ( $\text{H}_2$ ), среднего ( $\text{H}_2$  и  $\text{He}$ ) и нижнего (облака оледеневшего  $\text{NH}_3$ , кристаллического  $\text{NH}_4\text{HS}$  и водяного льда). Механизм циркуляции атмосферы не такой, как на Земле. В отличие от нашей планеты, где движение воздушных потоков создается за счет разницы нагрева различных областей, на Юпитере **основная причина — теплоперенос из недр и энергия, выделяемая при быстром вращении вокруг своей оси.** Самым величественным атмосферным явлением является Большое Красное Пятно (рис. 3.1.1).

Юпитер впервые наблюдался месопотамскими астрономами. В начале XVII века Галилео Галилей изучал Юпитер с помощью изобретённого им телескопа и открыл четыре крупнейших спутника планеты. В 1660-х годах Джованни Кассини наблюдал пятна и полосы на «поверхности» гиганта. В 20-21 веках планету изучали исключительно американские аппараты: «Вояджер», «Кассини», «Галилео», «Пионер» и др.

# Сатурн

|                                                        |                                                      |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)                           | Афелий — 10,05<br>Перигелий — 9,02<br>Средняя — 9,54 |
| Эксцентриситет орбиты                                  | 0,054                                                |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                              | 2,48                                                 |
| Средняя ОС (км/с)                                      | 9,67                                                 |
| Сидерический период обращения (лет)                    | 29,4                                                 |
| Минимальная видимая ЗВ                                 | 0,67                                                 |
| Масса (кг)                                             | $5,685 \cdot 10^{26}$                                |
| Экваториальный радиус (км)                             | 60270                                                |
| Полярный радиус (км)                                   | 54360                                                |
| Сжатие                                                 | 0,1076                                               |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )                 | 0,69                                                 |
| Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с <sup>2</sup> ) | 10,44                                                |
| Первая КС (км/с)                                       | 25,0                                                 |
| Вторая КС (км/с)                                       | 36,0                                                 |
| Период вращения вокруг своей оси (ч)                   | 10,66                                                |
| Наклонение экватора к орбите (град)                    | 26,73                                                |
| Альбедо                                                | 0,47                                                 |
| Число спутников                                        | 62                                                   |



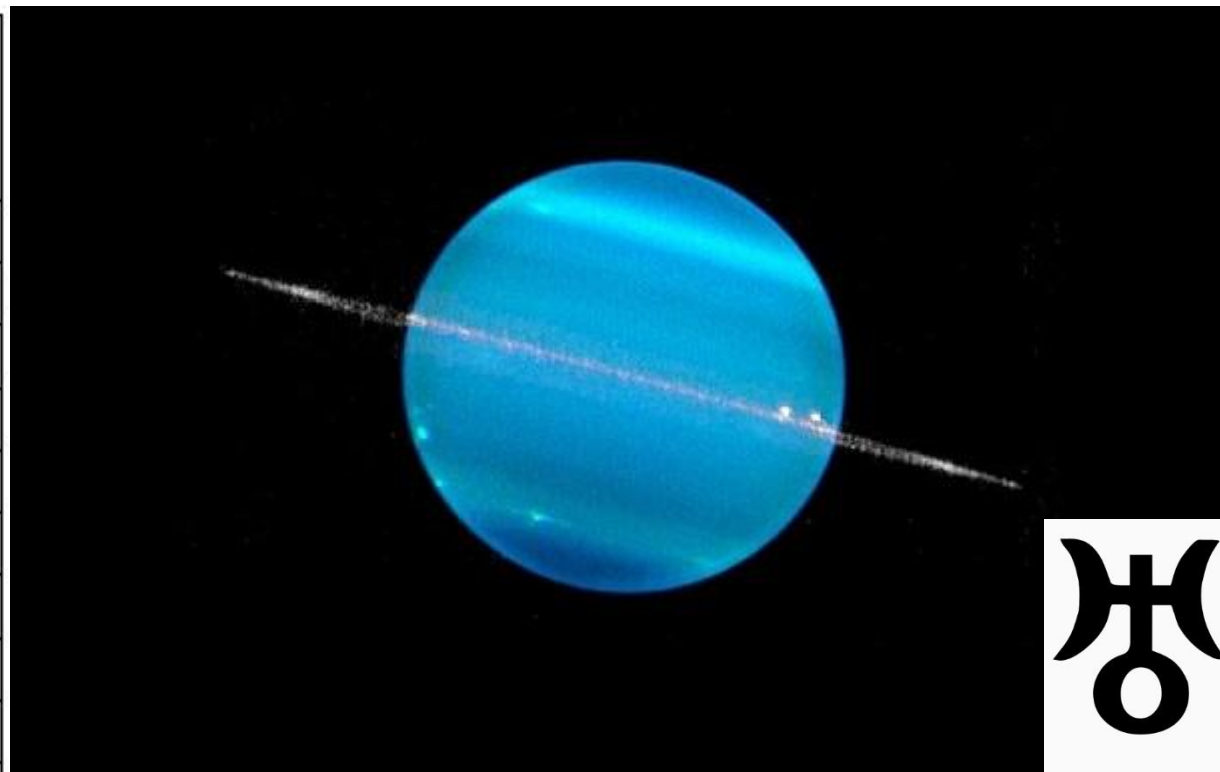
**Сатурн — шестая планета Солнечной системы.**

Атмосфера Сатурна кажется из космоса спокойной и однородной, но иногда на ней появляются долговременные образования. Скорость ветра на Сатурне может достигать местами 1800 км/ч, что значительно больше, чем на Юпитере. **Сатурн обладает заметной системой колец, состоящей главным образом из частичек льда, меньшего количества тяжёлых элементов и пыли** (рис. 3.2.1). Они расположены под углом приблизительно  $28^\circ$  к ПЭ. Кольца Сатурна очень тонкие, при диаметре около 250 000 км их толщина не достигает и километра.

Сатурн — одна из пяти планет Солнечной системы, легко видимых невооружённым глазом с Земли. Впервые наблюдал Сатурн через телескоп в 1609—1610 годах Галилей. В 1659 году Гюйгенс открыл кольца и самый крупный спутник Сатурна, Титан. С 1675 года изучением планеты занимался Кассини.

# Уран

|                                                        |                                                        |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)                           | Афелий — 20,10<br>Перигелий — 18,29<br>Средняя — 19,20 |
| Эксцентриситет орбиты                                  | 0,047                                                  |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                              | 0,77                                                   |
| Средняя ОС (км/с)                                      | 6,84                                                   |
| Сидерический период обращения (лет)                    | 84,02                                                  |
| Минимальная видимая ЗВ                                 | 7,8                                                    |
| Масса (кг)                                             | $8,685 \cdot 10^{25}$                                  |
| Экваториальный радиус (км)                             | 25560                                                  |
| Полярный радиус (км)                                   | 24970                                                  |
| Сжатие                                                 | 0,030                                                  |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )                 | 1,30                                                   |
| Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с <sup>2</sup> ) | 8,86                                                   |
| Первая КС (км/с)                                       | 15,6                                                   |
| Вторая КС (км/с)                                       | 22,0                                                   |
| Период вращения вокруг своей оси (ч)                   | -17,24                                                 |
| Наклонение экватора к орбите (град)                    | 97,86                                                  |
| Альбедо                                                | 0,51                                                   |
| Число спутников                                        | 27                                                     |



**Уран — седьмая планета Солнечной системы, третья по размерам и четвертая по массе. Уран — первая планета, обнаруженная с помощью телескопа в Новое время. Его открыл Уильям Гершель 13 марта 1781 года.**

Уран имеет **самую холодную планетарную атмосферу** с минимальной температурой в 49 К ( $-224^{\circ}\text{C}$ ). Полагают, что у Урана облака имеют сложное строение, где  $\text{H}_2\text{O}$  составляет нижний слой, а  $\text{CH}_4$  — верхний. Недра планеты состоят в основном из льдов и горных пород.

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.

Большинство сведений об Уране получено с КА «Вояджер».

- Почему Уран вращается «не так, как все»?

*Таково совпадение начальных условий при аккреции планетезималей, или же он образовался не из общего газопылевого облака. Однозначного ответа нет.*

# Нептун

|                                                        |                                                        |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Удаленность от Солнца (а.е.)                           | Афелий — 30,33<br>Перигелий — 29,81<br>Средняя — 30,07 |
| Эксцентриситет орбиты                                  | 0,009                                                  |
| Наклон орбиты к ПЭ (град)                              | 1,77                                                   |
| Средняя ОС (км/с)                                      | 5,48                                                   |
| Сидерический период обращения (лет)                    | 164,79                                                 |
| Минимальная видимая ЗВ                                 | 7,8                                                    |
| Масса (кг)                                             | $1,024 \cdot 10^{26}$                                  |
| Экваториальный радиус (км)                             | 24760                                                  |
| Полярный радиус (км)                                   | 24340                                                  |
| Сжатие                                                 | 0,026                                                  |
| Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )                 | 1,64                                                   |
| Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с <sup>2</sup> ) | 11,09                                                  |
| Первая КС (км/с)                                       | 16,7                                                   |
| Вторая КС (км/с)                                       | 24,0                                                   |
| Период вращения вокруг своей оси (ч)                   | 16,11                                                  |
| Наклонение экватора к орбите (град)                    | 29,58                                                  |
| Альбедо                                                | 0,41                                                   |
| Число спутников                                        | 14                                                     |



**Нептун — восьмая планета Солнечной системы.**

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.

В атмосфере Нептуна бушуют **самые сильные ветры среди планет Солнечной системы,** по некоторым оценкам, их скорости могут достигать 2100 км/ч.

У Нептуна есть кольцевая система, хотя гораздо менее существенная, чем, к примеру, у Сатурна. Кольца могут состоять из ледяных частиц, покрытых силикатами, или основанным на углероде материалом, — наиболее вероятно, это он придаёт им красноватый оттенок.

# Карликовые планеты



# Вопрос — ответ

- Как планеты обзаводятся кольцами?

*Однозначной теории нет. Предполагается, что это либо обломки спутников, либо захваченные гравитационным полем астероиды, либо даже вещество самих планет, выброшенное на орбиту в результате катастрофы. Силы инерции и гравитации придали им плоскую кольцевую форму и «загнали» примерно в плоскость эклиптики.*

- Все ли планеты имеют кольца?

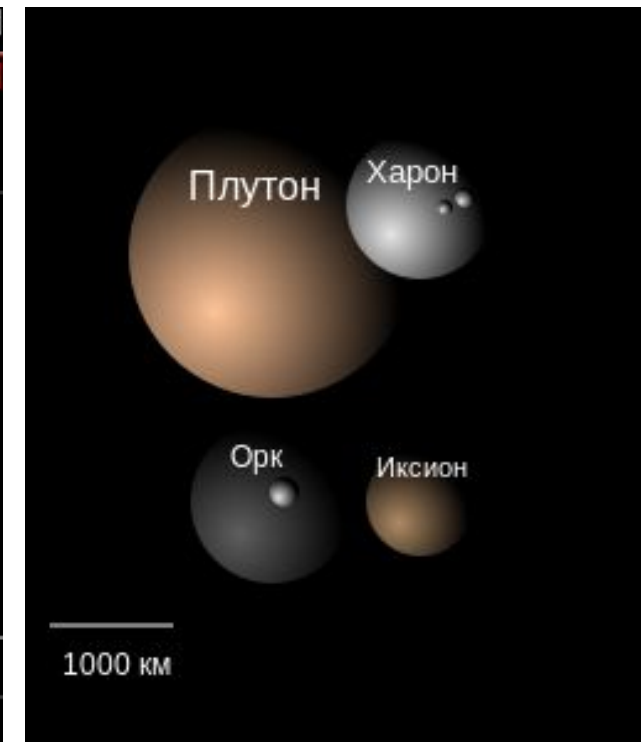
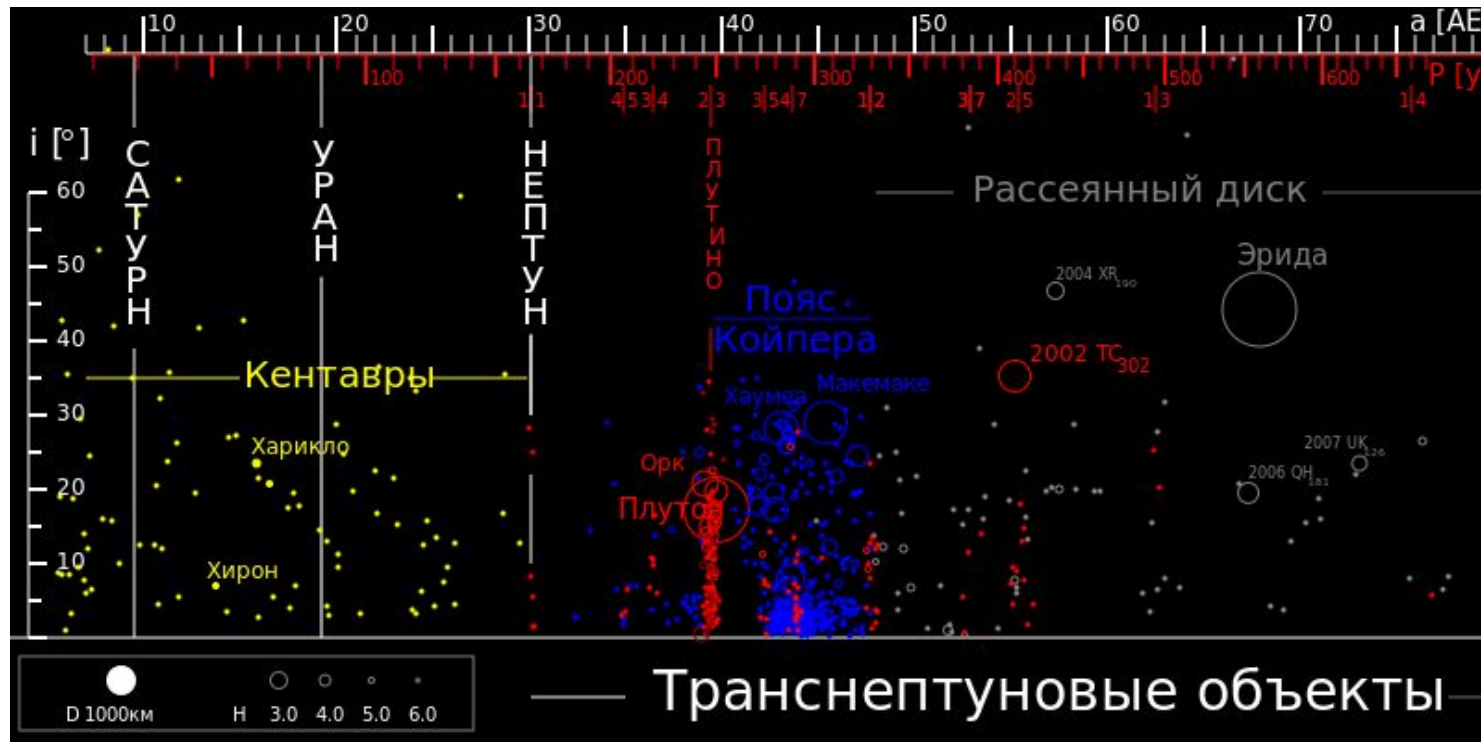
*В настоящий момент только газовые и ледяные гиганты. Возможно, кольцевая система была и у планет земной группы, но разрушилась из-за гравитационной неустойчивости.*

- Как планеты обзаводятся спутниками?

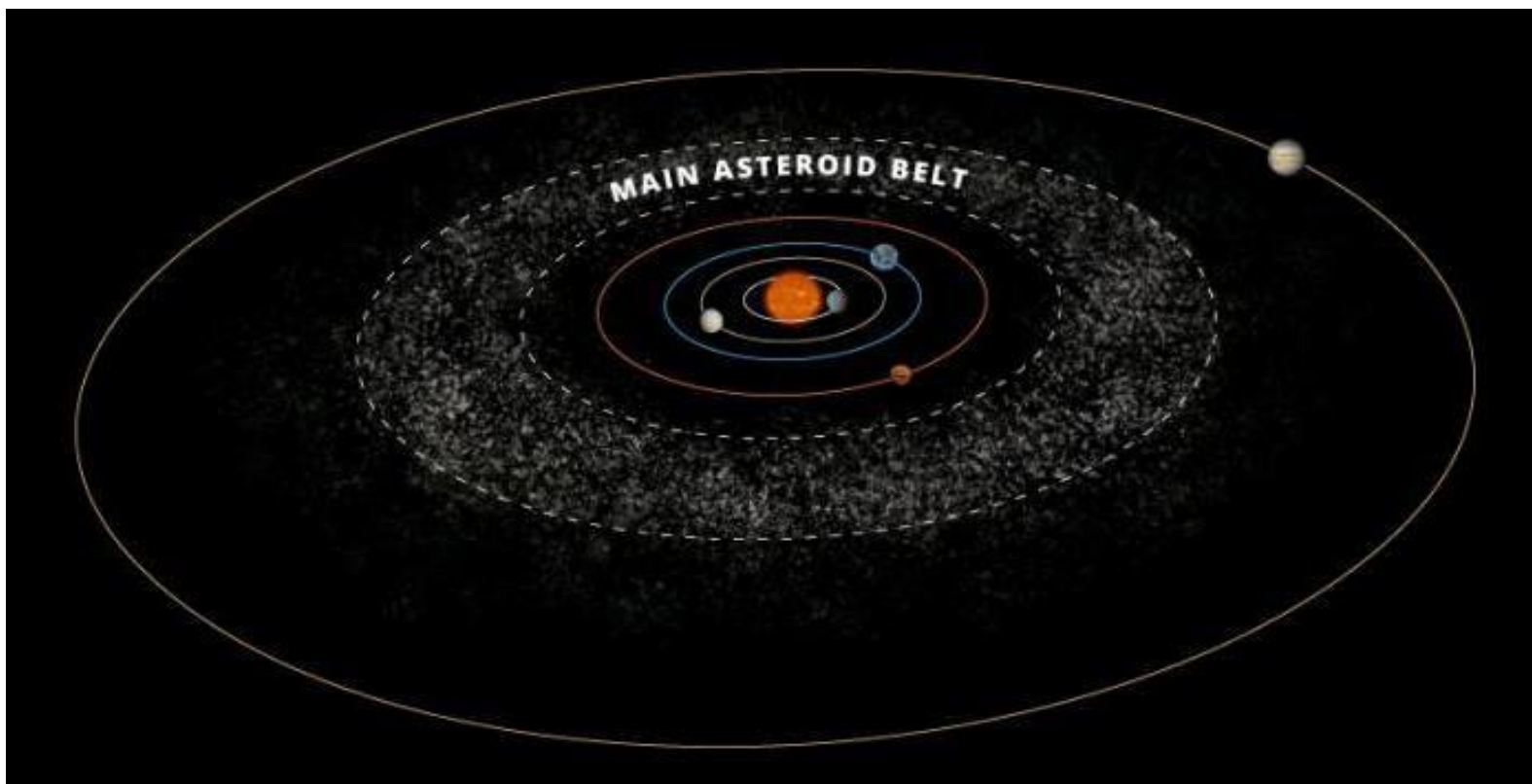
*Точно так же, как и кольцами: гравитационным захватом крупных объектов либо за счет потери собственного вещества.*

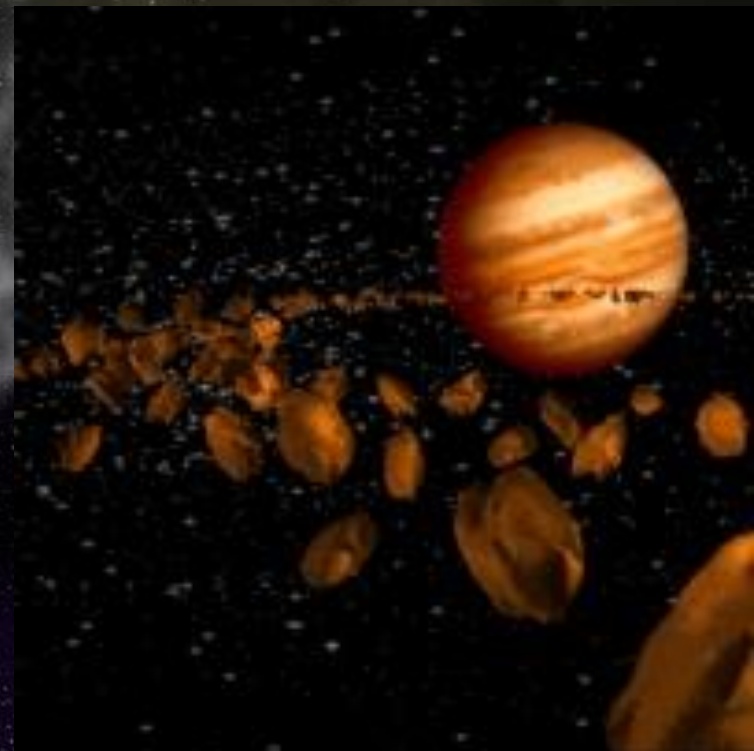
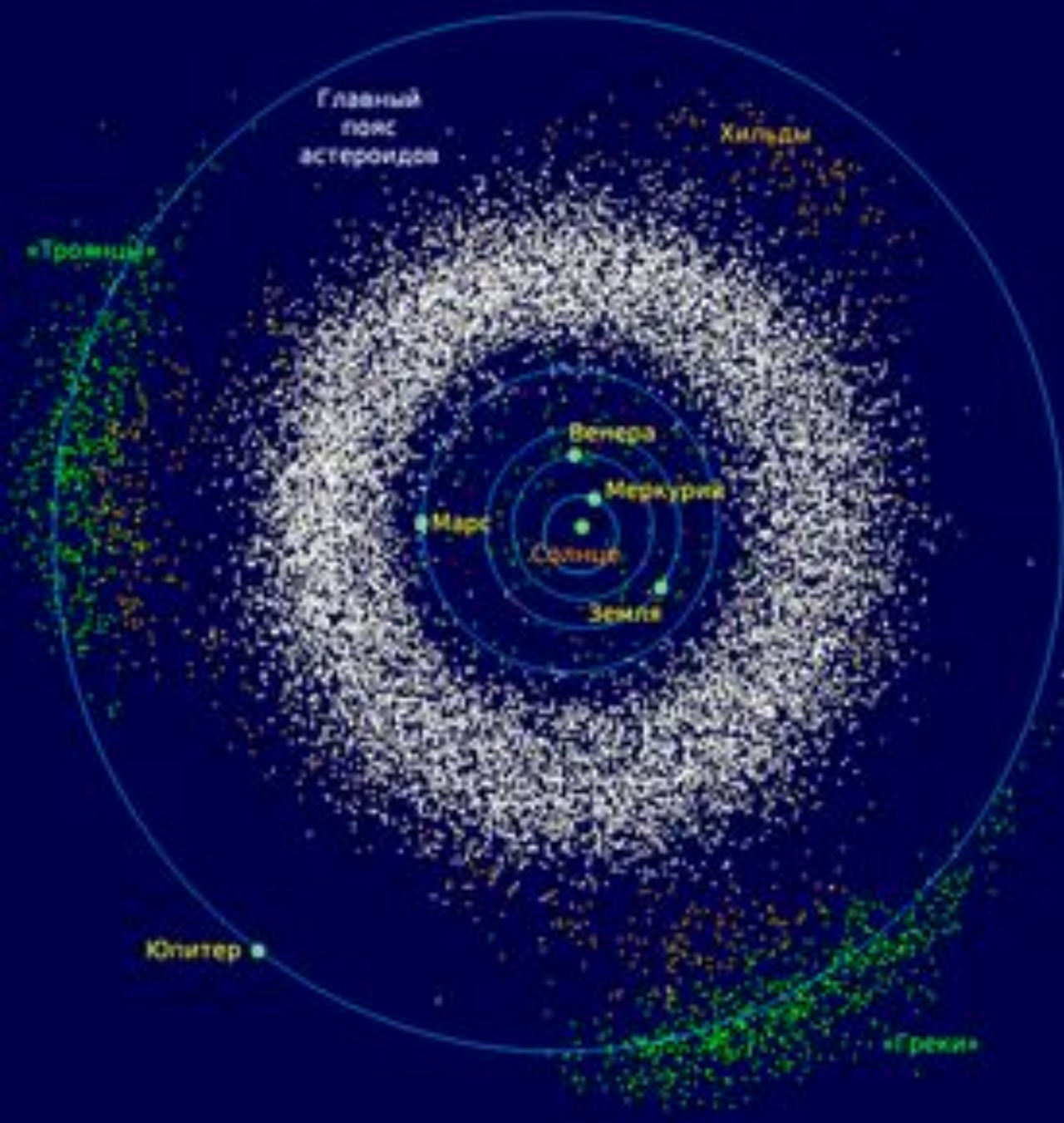
# Лекция 6. Малые небесные тела

- **Транснептуновые объекты** — небесные тела, обращающиеся вокруг Солнца, но имеющие среднее расстояние до него больше, чем у Нептуна. Они образуют **пояс Койпера**, **рассеянный диск** и **облако Оорта**.
- Если транснептуновый объект находится с Нептуном в орбитальном резонансе (2:3), то его называют **плутино**. Другими словами, за три оборота Нептуна вокруг Солнца плутино обращается дважды.

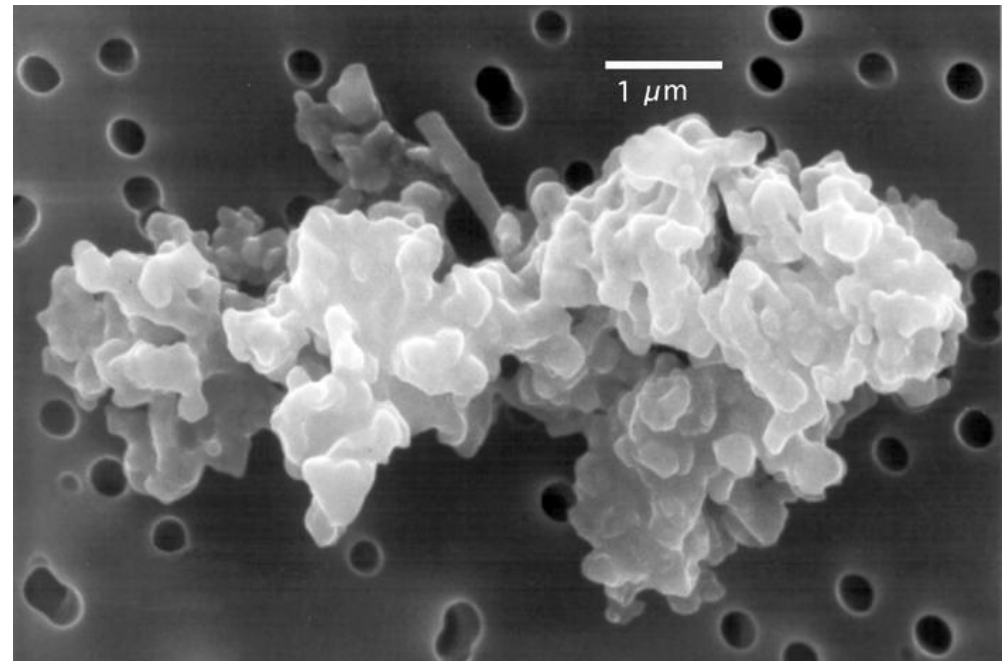


- **Астероиды** — космические тела, уступающие по массе и размерам планетам, имеющие неправильную форму и не имеющие атмосферы.
- Астероиды образуют **пояс астероидов** и **группы троянских астероидов**.
- **Троянские астероиды** — астероиды, находящиеся в окрестностях точек Лагранжа L4 и L5 и находящиеся в орбитальном резонансе (1:1) с планетами. Такие группы имеются у Земли, Марса, Юпитера, Урана, Нептуна.





- **Метеороид** — космическое тело, промежуточное по размеру между астероидом и космической пылью.
- Метеороид, сгорающий в атмосфере планеты вследствие трения, называется **болидом**.
- Видимый след сгорания болида — **метеор**.
- **Метеорит** — метеороид, не сгоревший в атмосфере планеты и упавший на ее поверхность.
- **Космическая пыль** — совокупность объектов с размерами, меньшими 10 мкм, движущиеся в межпланетном пространстве. Это может быть **кометная, астероидная, околопланетная, межзвездная, галактическая и межгалактическая** пыль.



- **Комета** — малое небесное тело, обращающееся вокруг Солнца по эллиптической, гиперболической или параболической орбите (одному из конических сечений).
- Комета состоит из **ядра кометы**, **комы** (облака пыли и газа, окружающего ядро) и **хвоста**. И кома, и хвост образуются в процессе **сублимации** при приближении к Солнцу.
- Различают **долгопериодические**, **короткопериодические** и **потерявшиеся кометы**.



# Лекция 7. Экзопланеты

- **Экзопланеты** — планеты, находящиеся за пределами Солнечной системы. На начало июля 2018 года достоверно подтверждено существование 3798 экзопланет в 2841 планетных системах, из которых в 633 имеется более одной планеты.
- Общее количество экзопланет в галактике Млечный Путь в настоящее время оценивается не менее чем в 100 миллиардов, из которых от 5 до 20 миллиардов, возможно, являются землеподобными.



- **Холодный юпитер** — экзопланета, получающая большую часть тепловой энергии от внутренних процессов, а не взаимодействия со звездой.
- **Горячий юпитер** — экзопланета, находящаяся на один порядок ближе к своей звезде по сравнению с расстоянием, на котором Юпитер лежит к Солнцу.
- **Рыхлая планета** — планета, гравитация которой не удерживает ее от разогрева, и она теряет массу и плотность, постепенно распадаясь в газопылевое облако.
- **Холодный нептун** — экзопланета, подобная Нептуну.
- **Горячий нептун** — холодный нептун, находящийся близко к звезде (аналогично горячему юпитеру).
- **Гелиевая планета** — экзопланета, образуемая из белого карлика при потере им массы.
- **Супер-юпитер** — экзопланета с размерами на порядок больше Юпитера.
- **Водный гигант** — экзопланета-гигант, покрытая облаками из водяного пара.

- **Планета-океан** — экзопланета, теоретически полностью покрытая водой, льдом, скалистыми породами и металлами.
- **Хтоническая планета** — гигант, потерявший свою газовую оболочку.
- **Лавовая планета** — планета, теоретически полностью покрыта расплавленными породами.
- **Пустынная планета** — твердая экзопланета, на которой практически нет осадков.
- **Экзолуна (экзоспутник)** — естественный спутник экзопланеты.
- **Планета-сирота** — экзопланета, гравитационно не удерживаемая никакой звездой.



**Спасибо за внимание!**