

*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!*

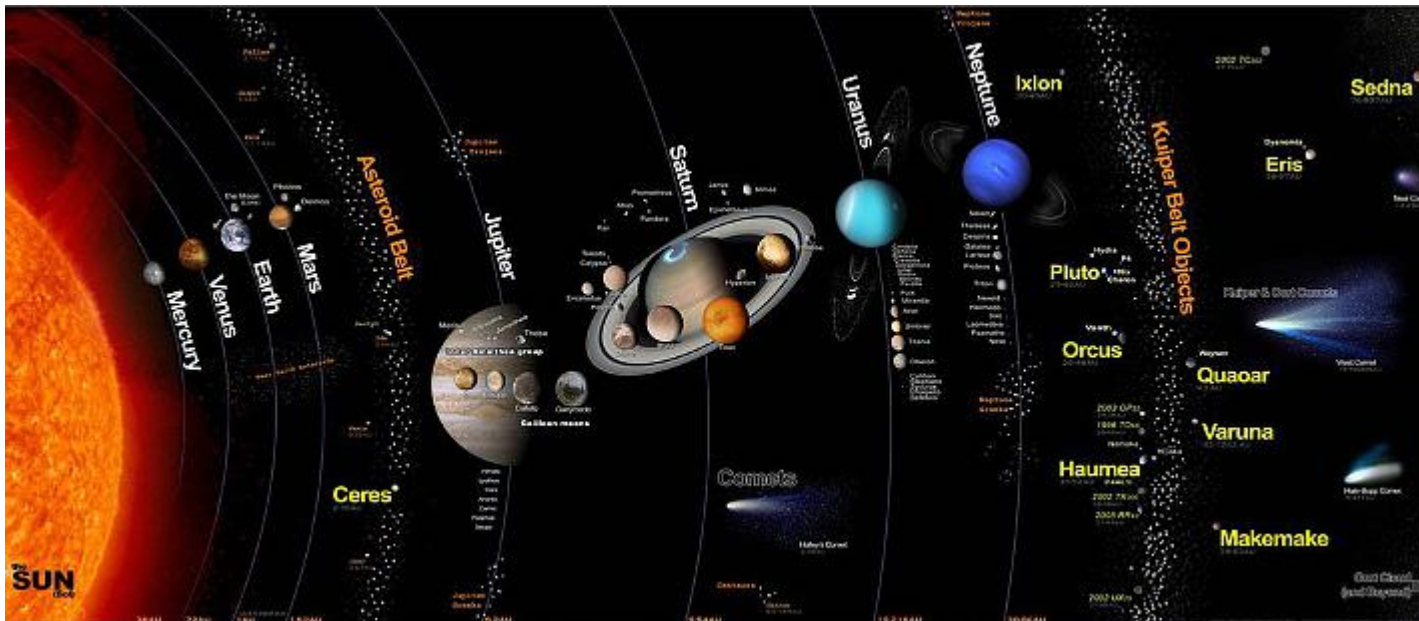
# Содержание

- 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.

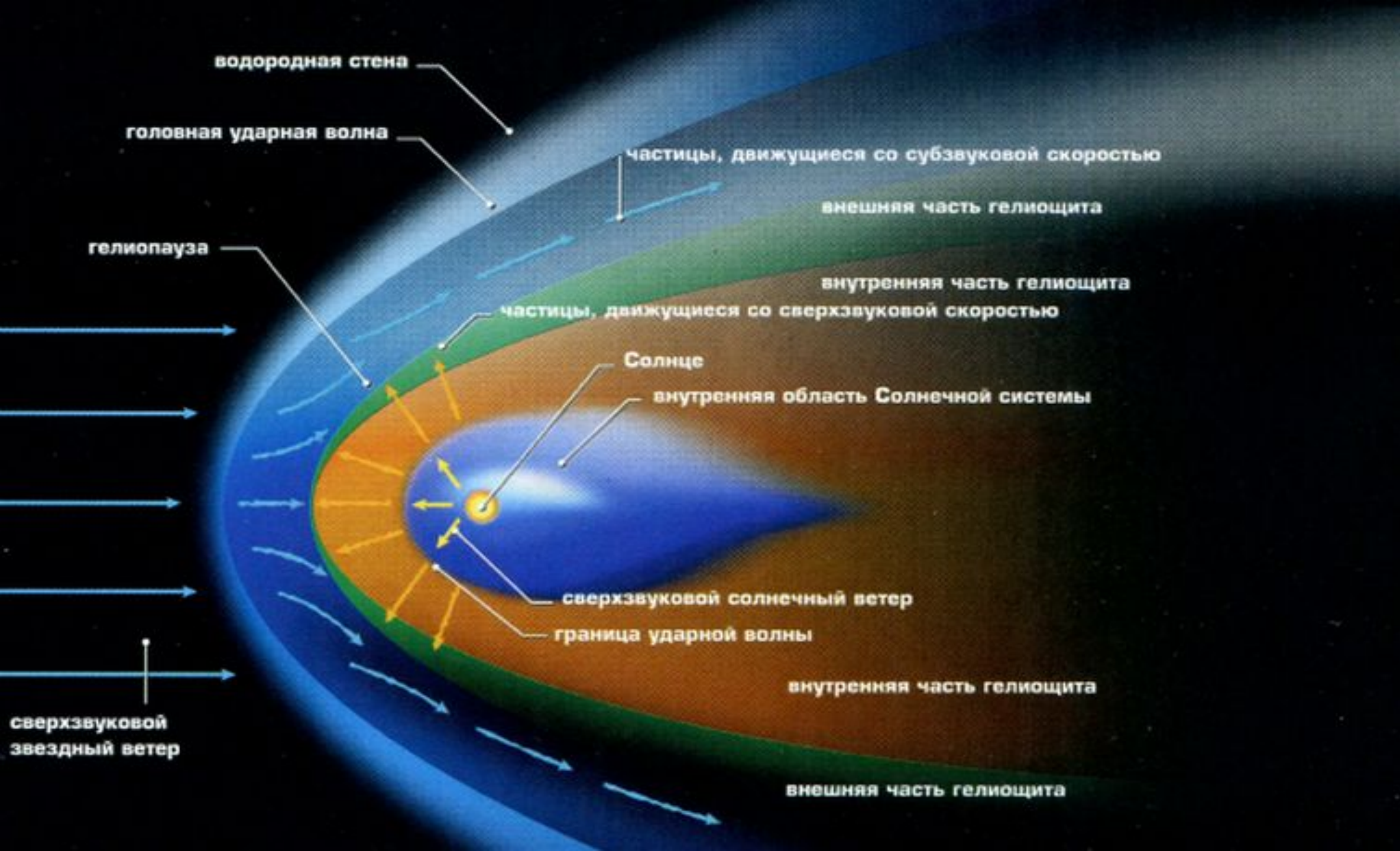




- **Солнечная система состоит из 8 планет:**
  - *Планеты земной группы / Нижние планеты*
    - Меркурий, Венера, Земля, Марс
  - *Планеты внешней группы / Верхние планеты*
    - Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун
- Планеты также подразделяют на **планеты-карлики** (все планеты земной группы), **газовые гиганты** (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**

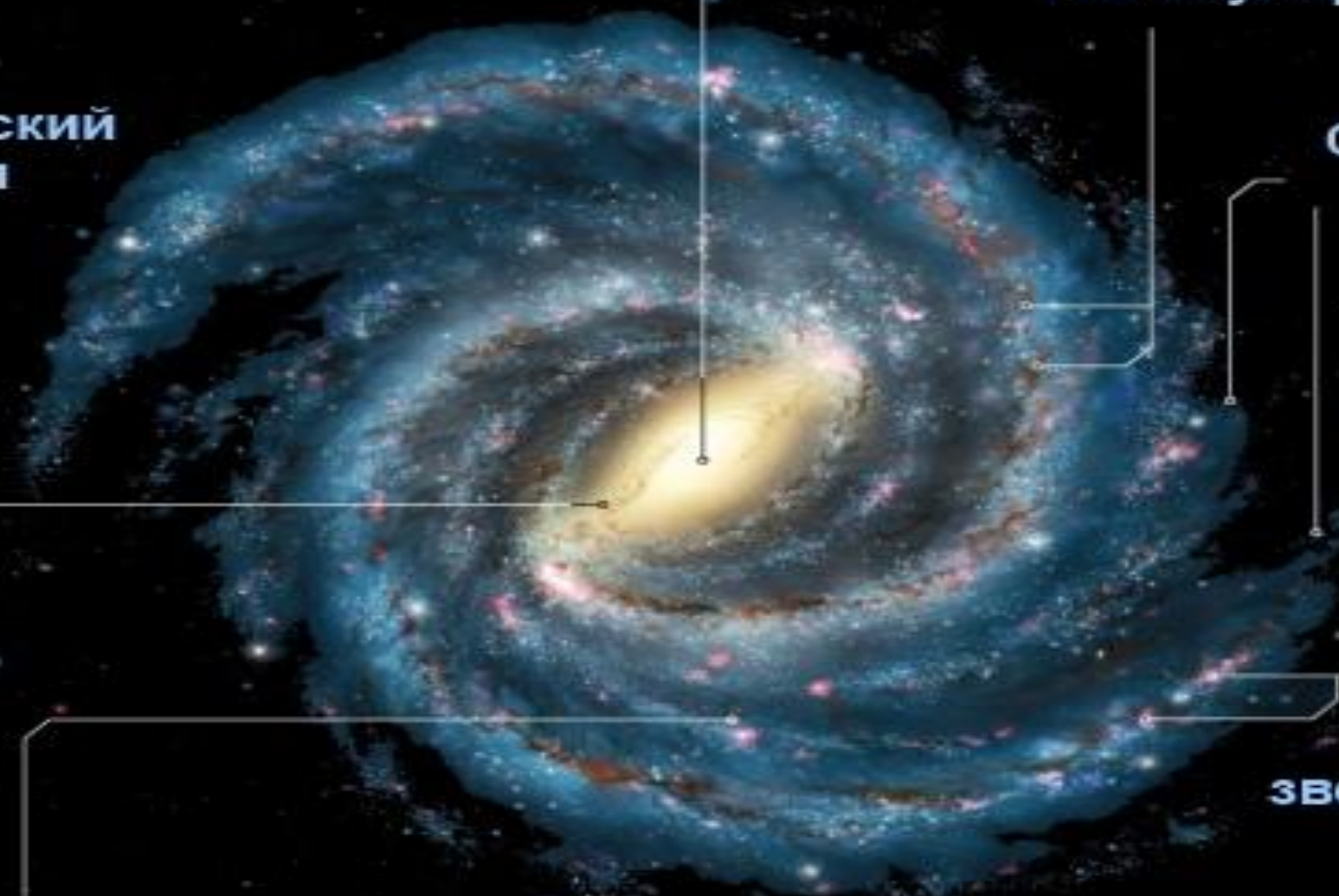
**Молекулярные облака**

**Галактический  
выступ**

**Спиральные  
рукава**

**Регионы  
звездообразования**

**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).*

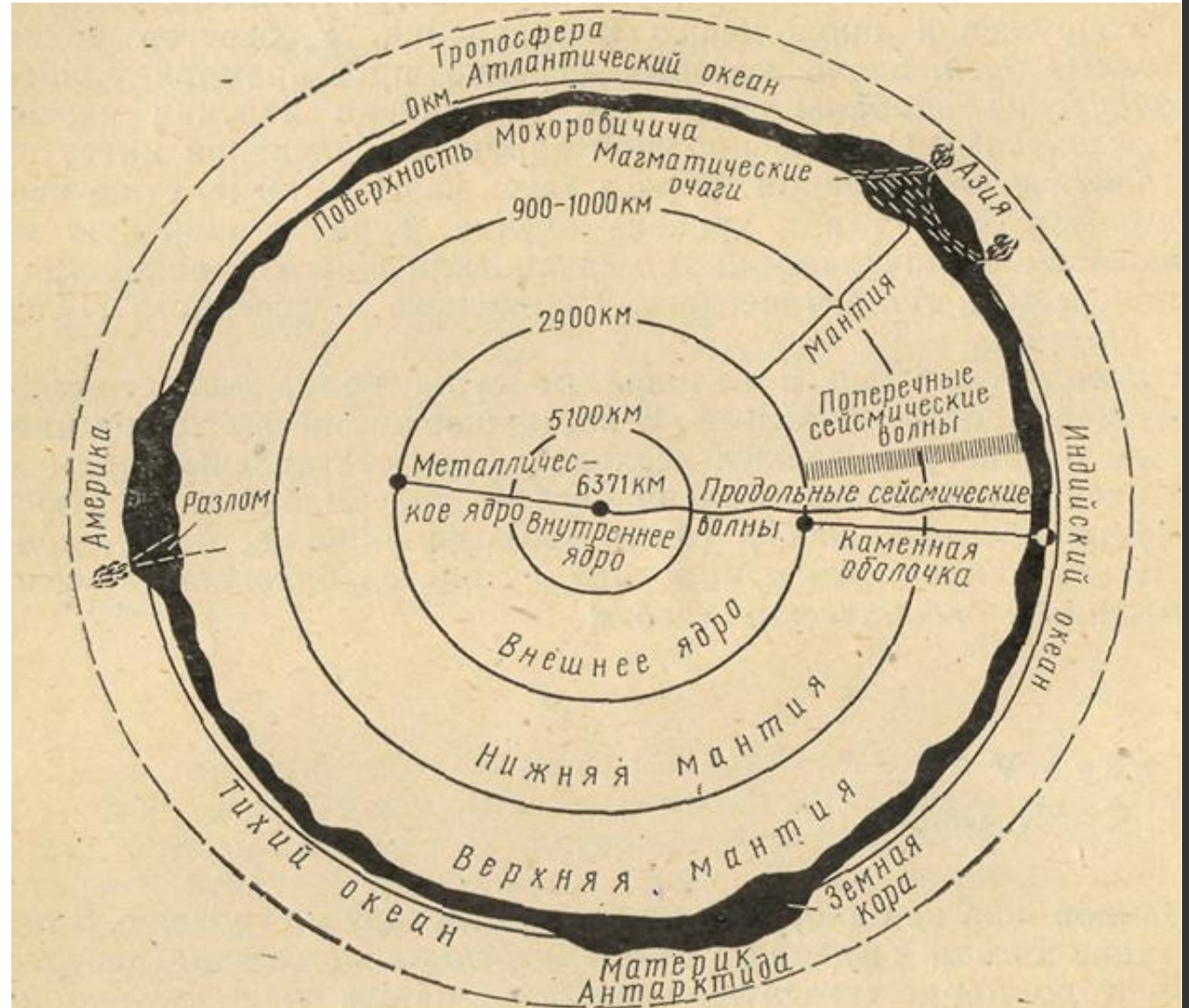
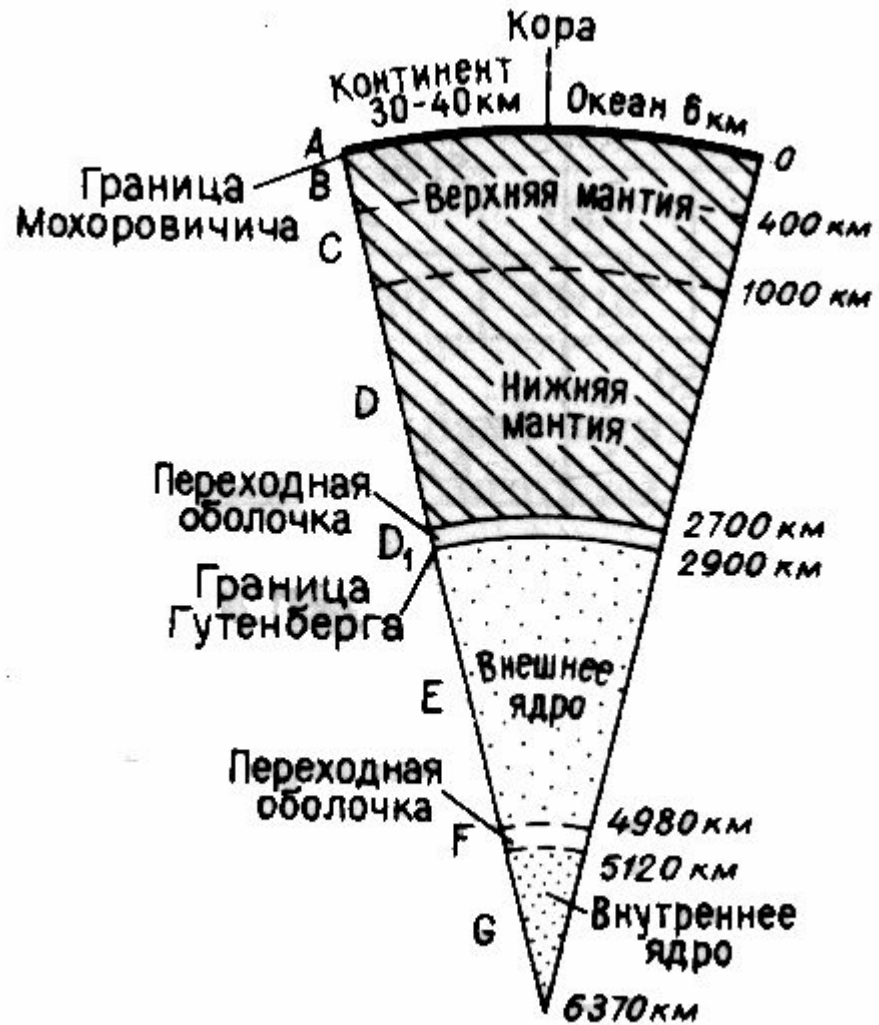
- Почему планеты движутся? Могут ли они остановиться?

*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

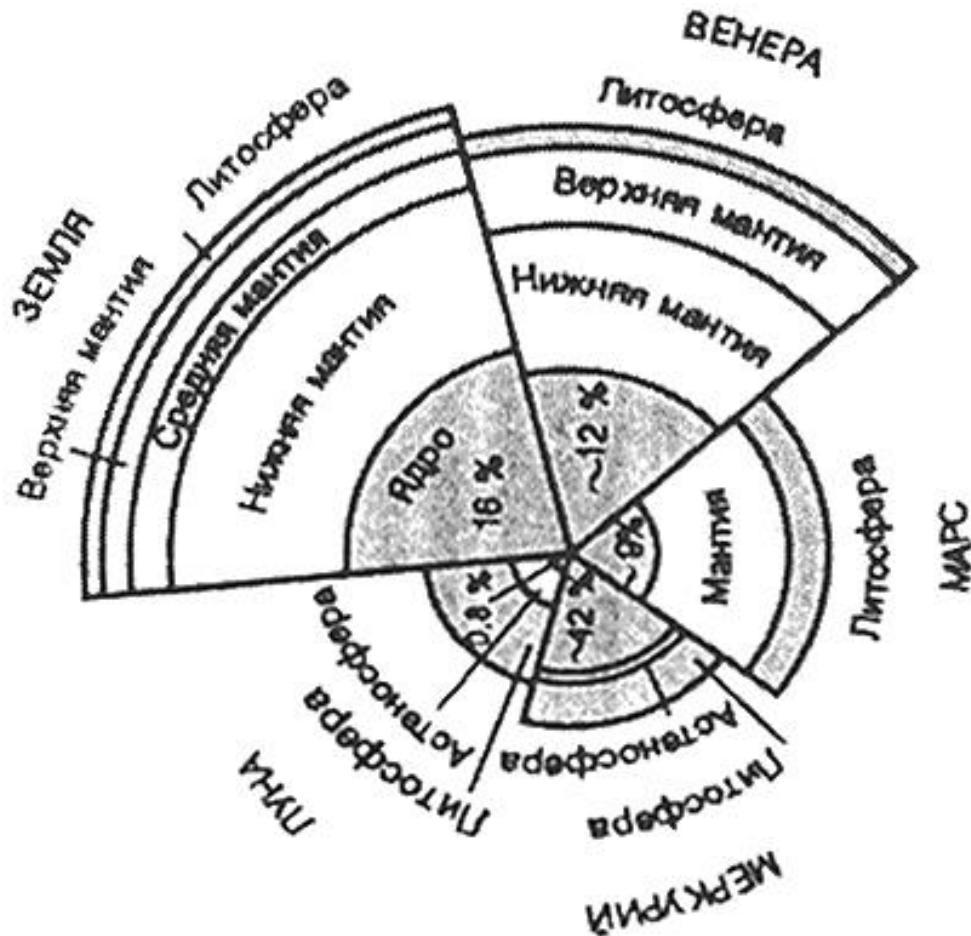
- Вещество планеты по температуре, давлению и другим физическим условиям разделяют на **ядро (внутреннее и внешнее), мантию (верхнюю, среднюю и нижнюю) и кору**. На следующих слайдах вы ознакомитесь с внутренним строением планет.
- Более тяжелое вещество стремится опуститься вниз, а более легкое — подняться 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).

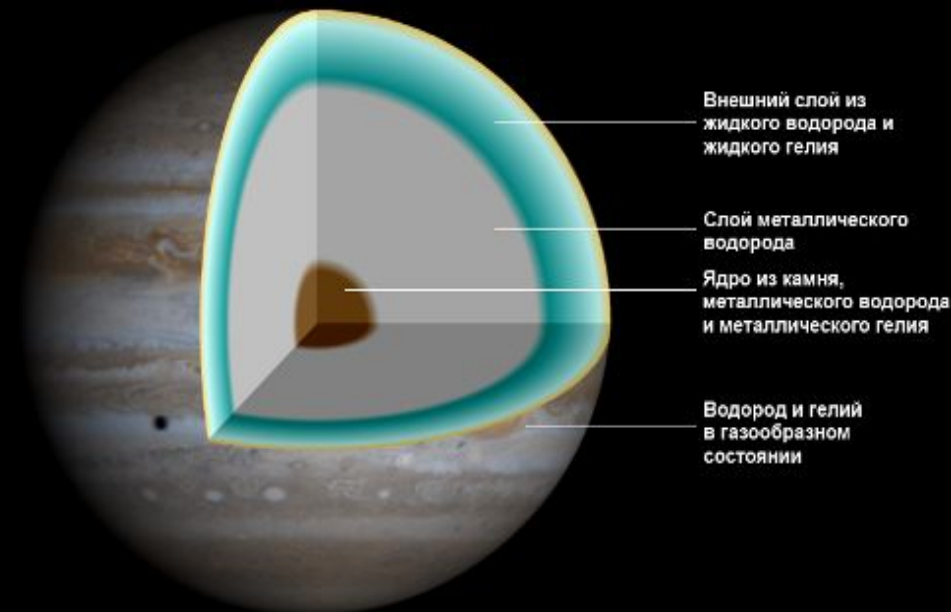
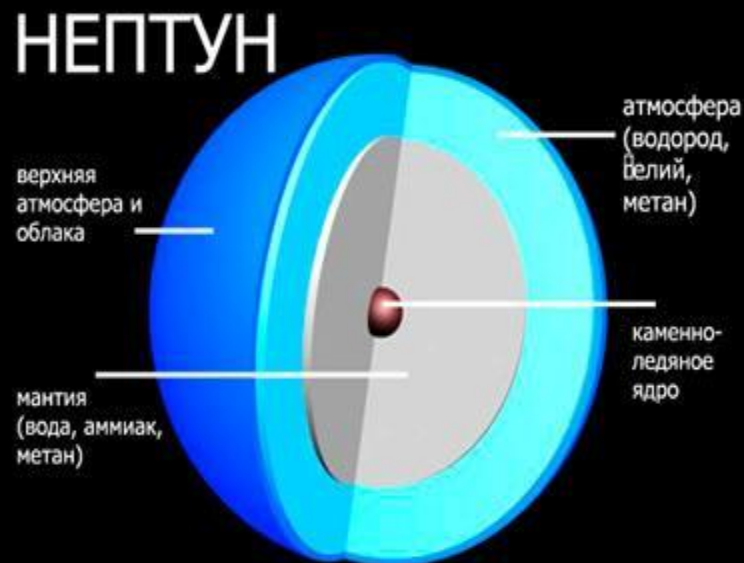
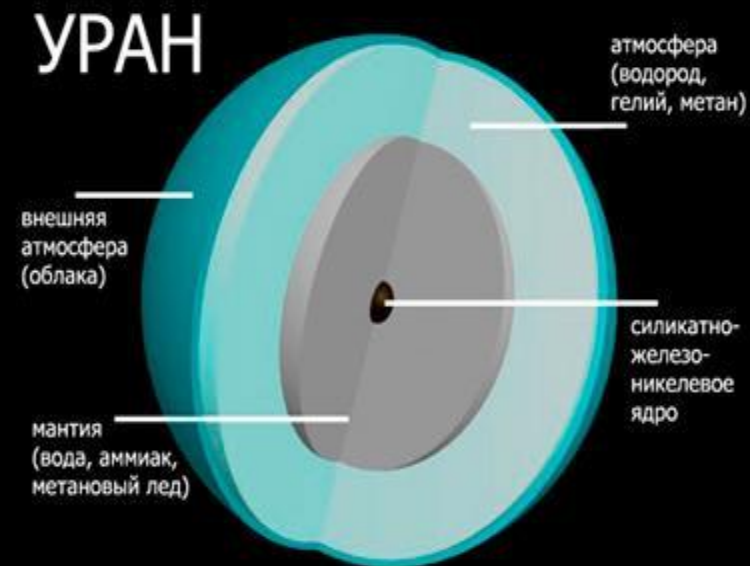
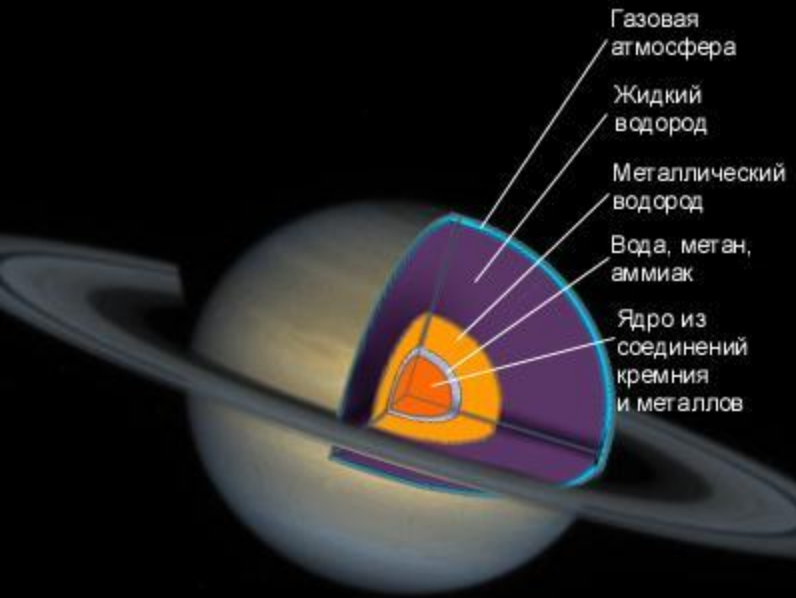
**Граница Моховичича** – между корой и мантией.

**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?

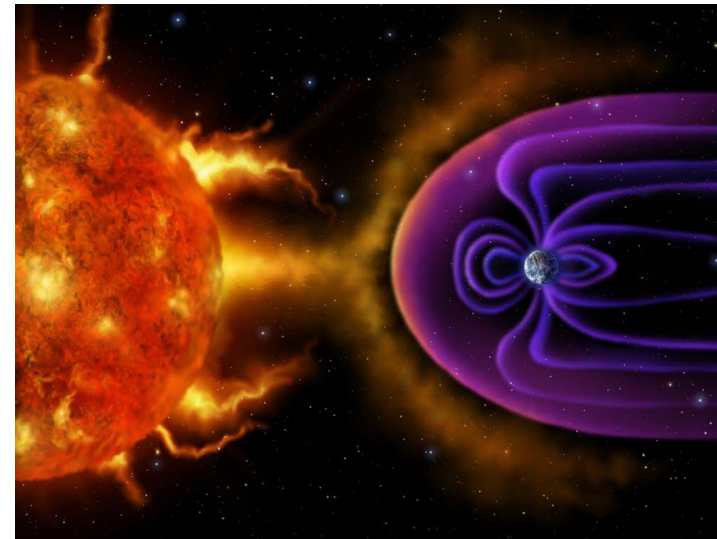
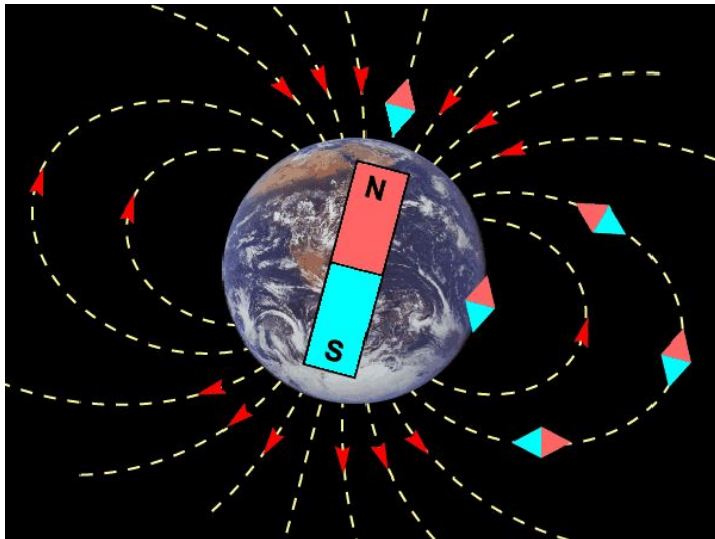
*Да, когда полностью завершится гравитационная дифференциация, то не будет ни землетрясений, ни извержений вулканов.*

- 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.



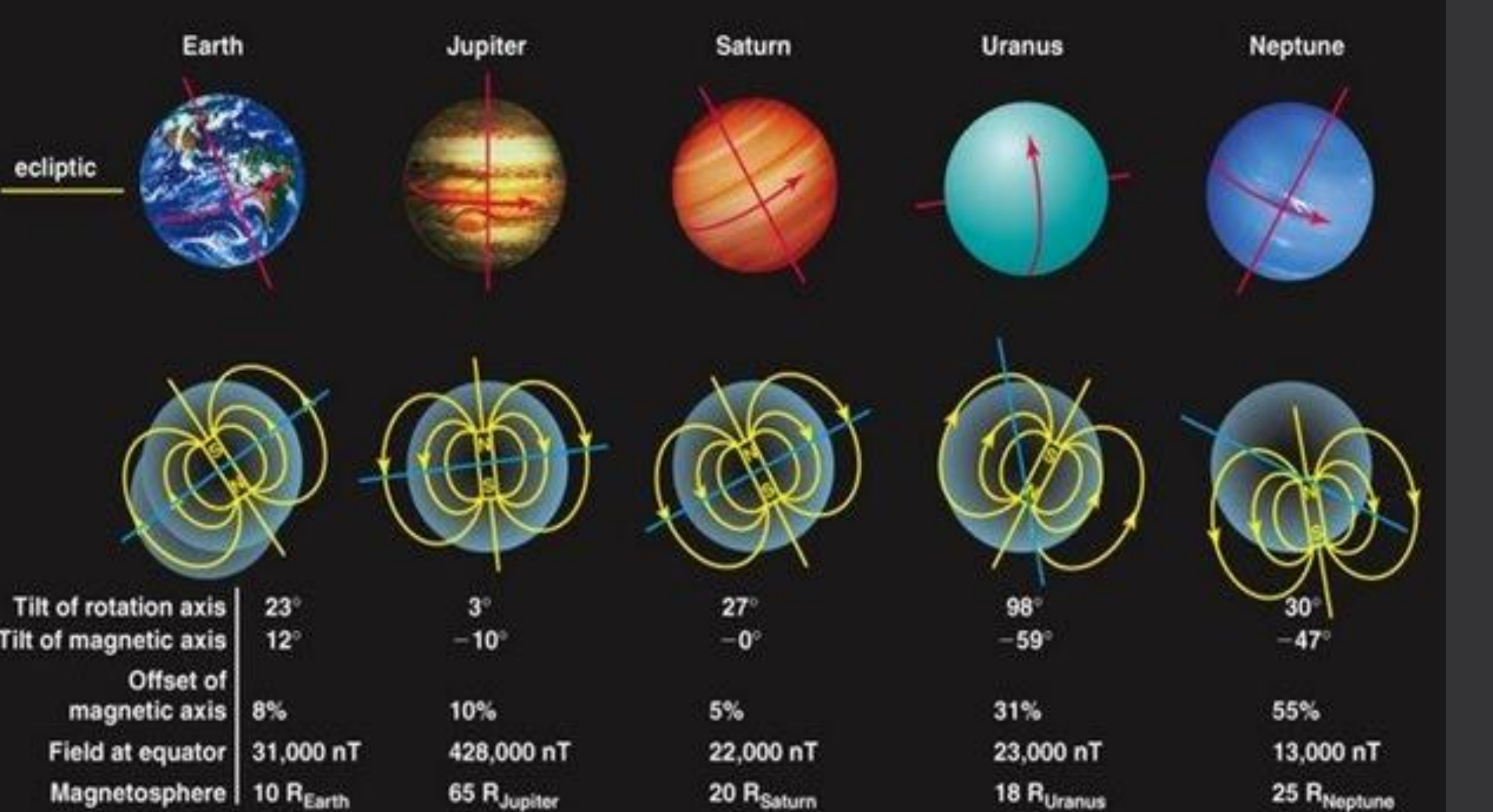
# Магнитное поле Земли

- 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)

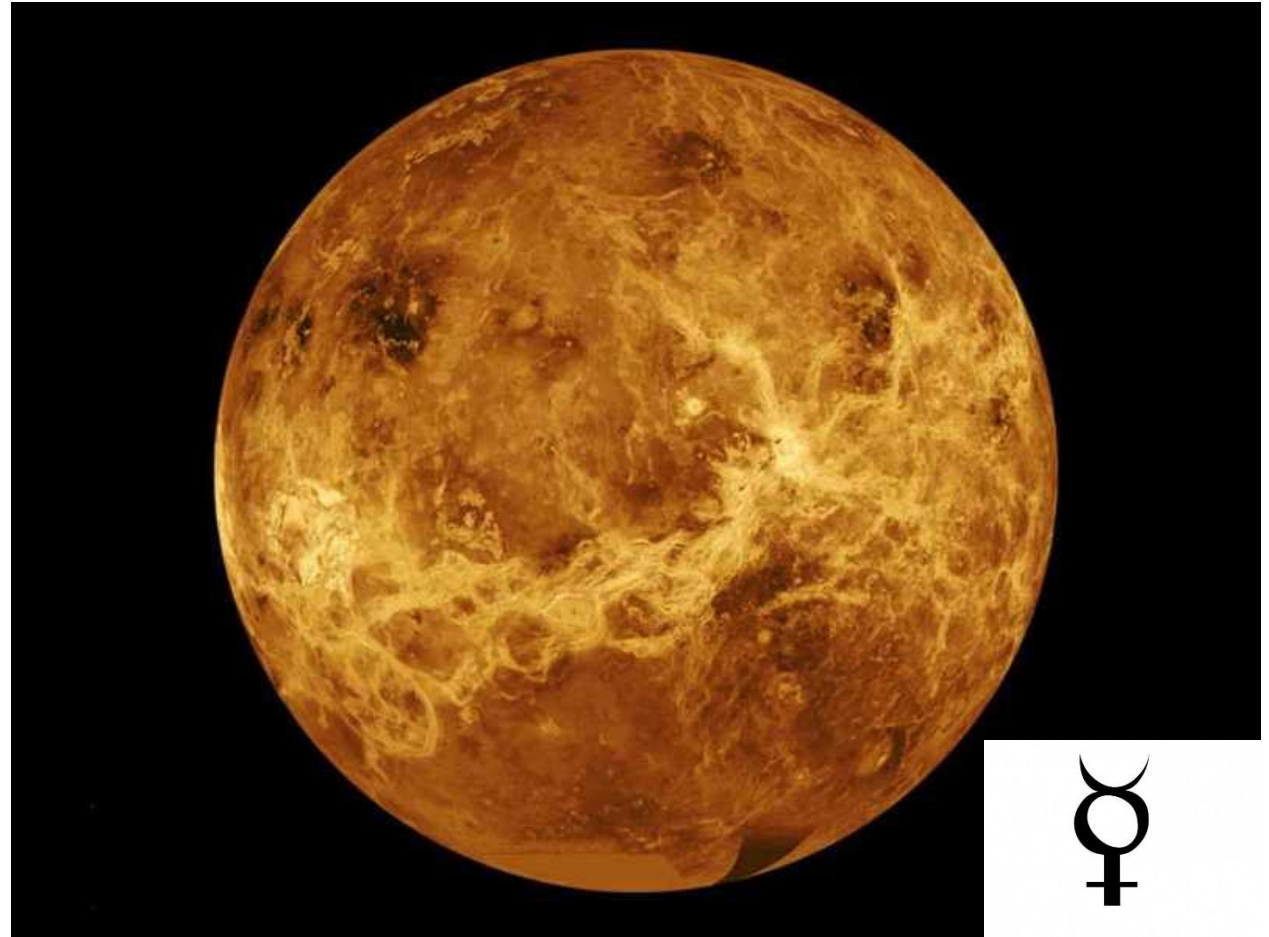


# Лекция 4. Данные о планетах Солнечной системы

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

# Меркурий

Удаленность от Солнца (а.е.)	Афелий — 0,467 Перигелий — 0,308 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  $2/3$  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 Перигелий — 0,718 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
Альbedo	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.

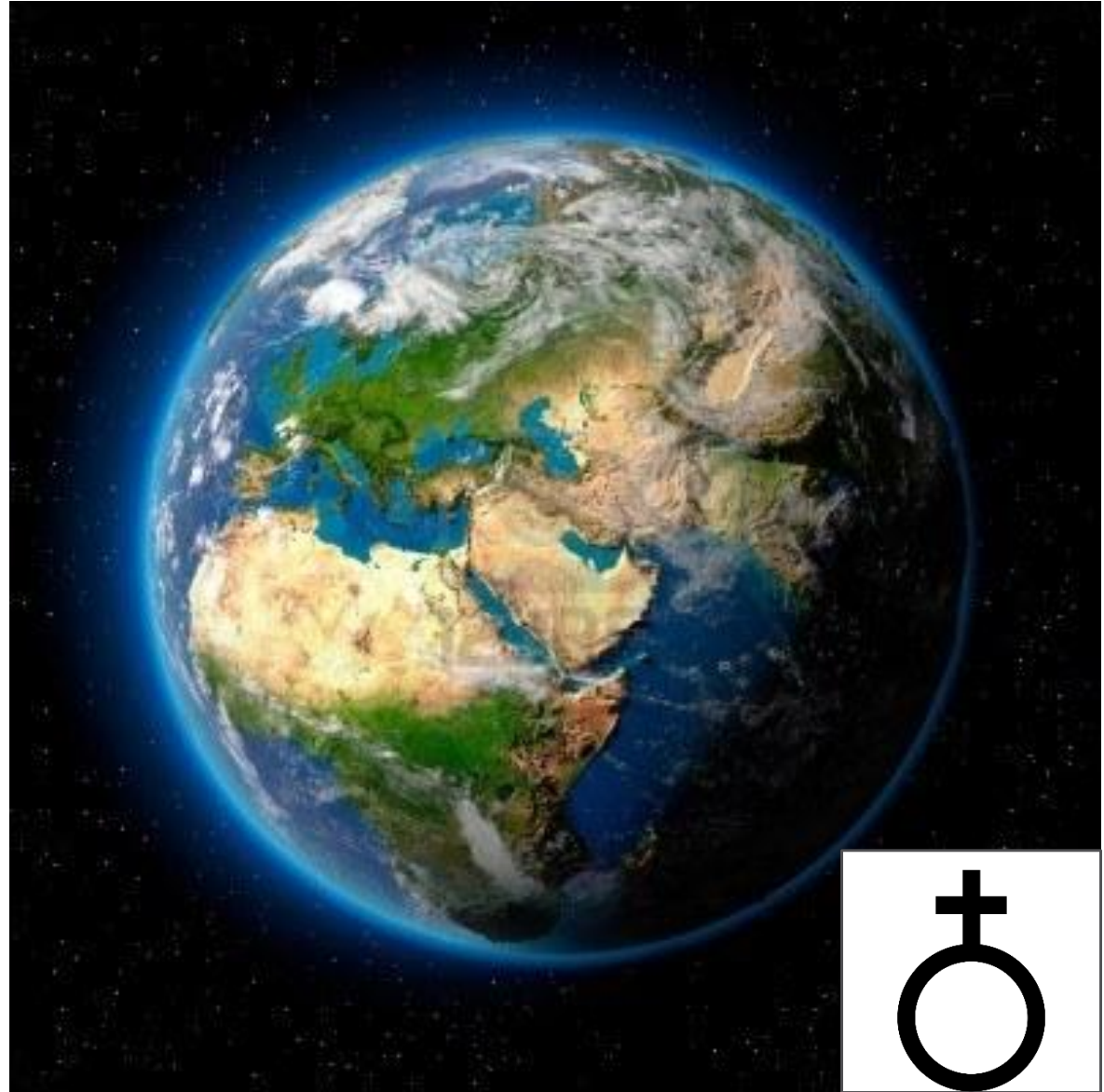
Поверхность планеты покрыта равнинами и горами вулканического происхождения, число кратеров незначительно по сравнению с Меркурием или Луной, т.к. астероиды дотла сгорают в плотной атмосфере.

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 Перигелий — 0,983 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
Альbedo	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 Перигелий — 1,38 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)	$6,419 \cdot 10^{25}$
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
Альbedo	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  $Fe_2O_3$  в коре.** Первые упоминания о Марсе оставили древнеегипетские астрономы. Среди астрономов докосмической эры, проводивших телескопические наблюдения Марса в этот период, наиболее известны Скиапарелли, Персиваль Ловелл, 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 Перигелий — 4,95 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

4



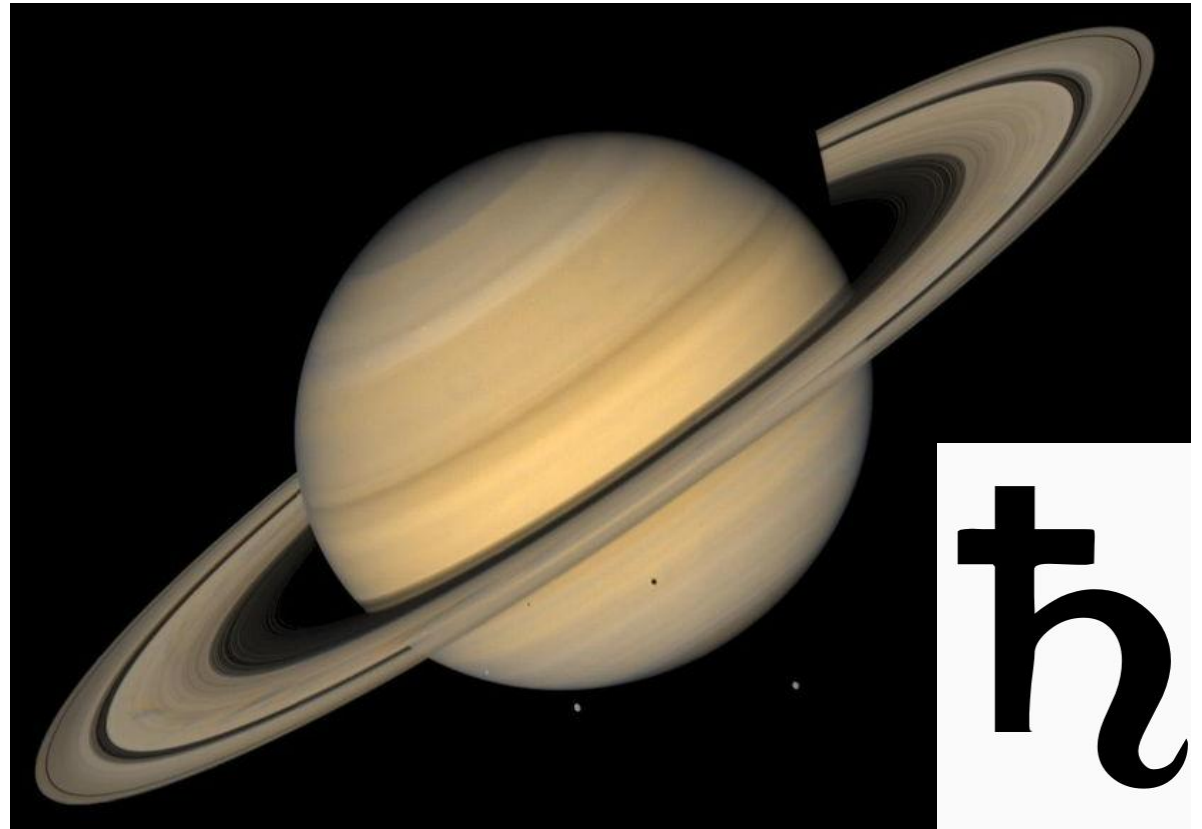
**Юпитер — крупнейшая планета Солнечной системы.** Его масса превышает суммарную массу остальных планет, вместе взятых. **Юпитер — второй по мощности радиоисточник Солнечной системы** (после Солнца).

Атмосфера Юпитера состоит из трех слоев: верхнего ( $\text{H}_2$ ), среднего ( $\text{H}_2$  и 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 Перигелий — 9,02 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



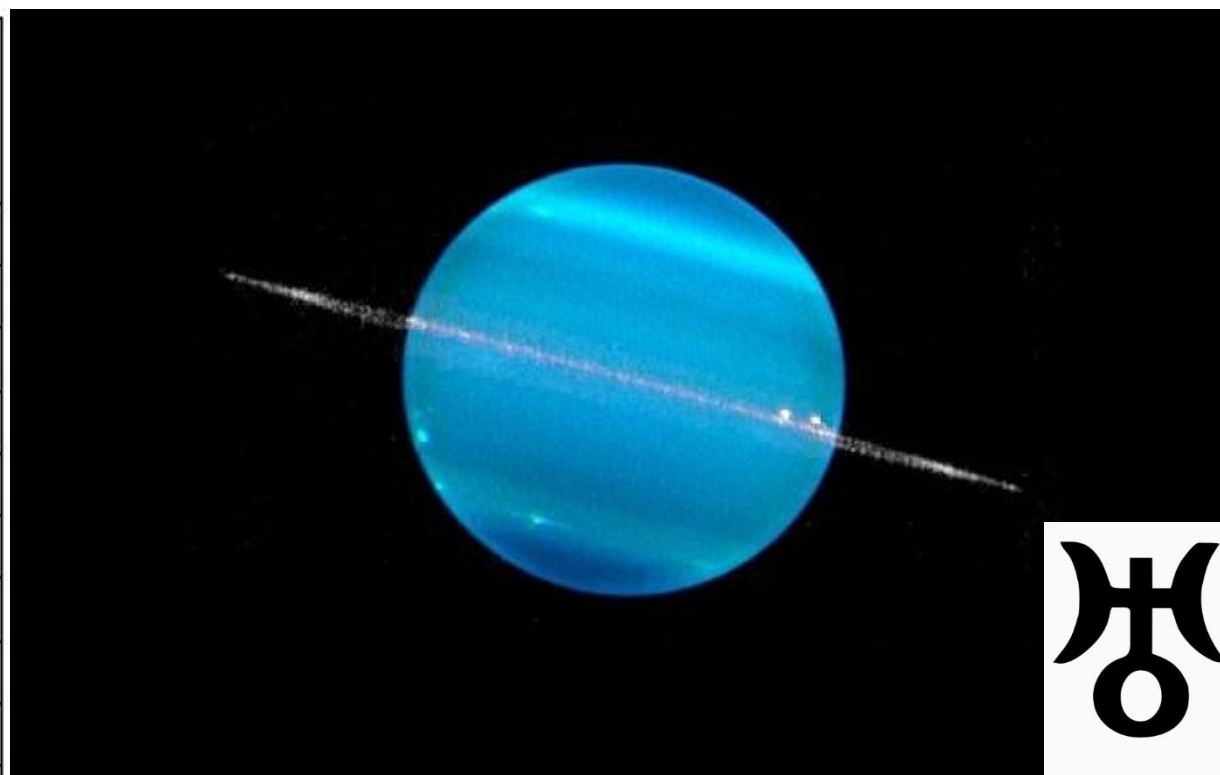
## **Сатурн — шестая планета Солнечной системы.**

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 Перигелий — 18,29 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 ( $-224^{\circ}$  С). 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 Перигелий — 29,81 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



Э

**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?

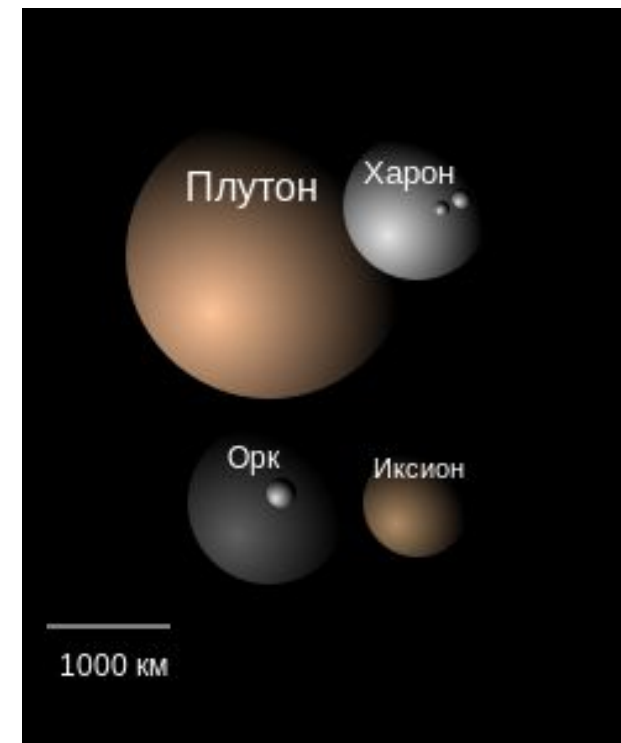
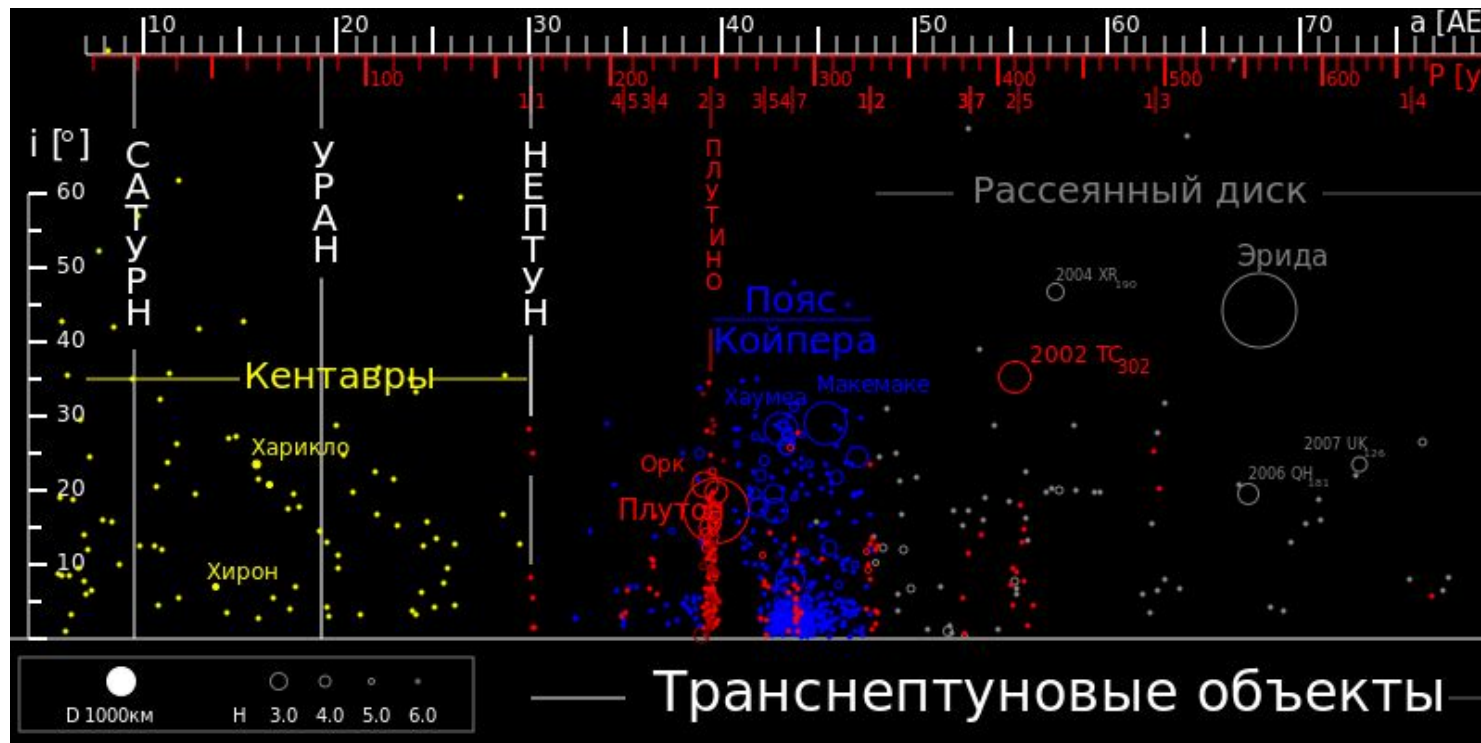
*В настоящий момент только газовые и ледяные гиганты. Возможно, кольцевая система была и у планет земной группы, но разрушилась из-за гравитационной неустойчивости.*

- Как планеты обзаводятся спутниками?

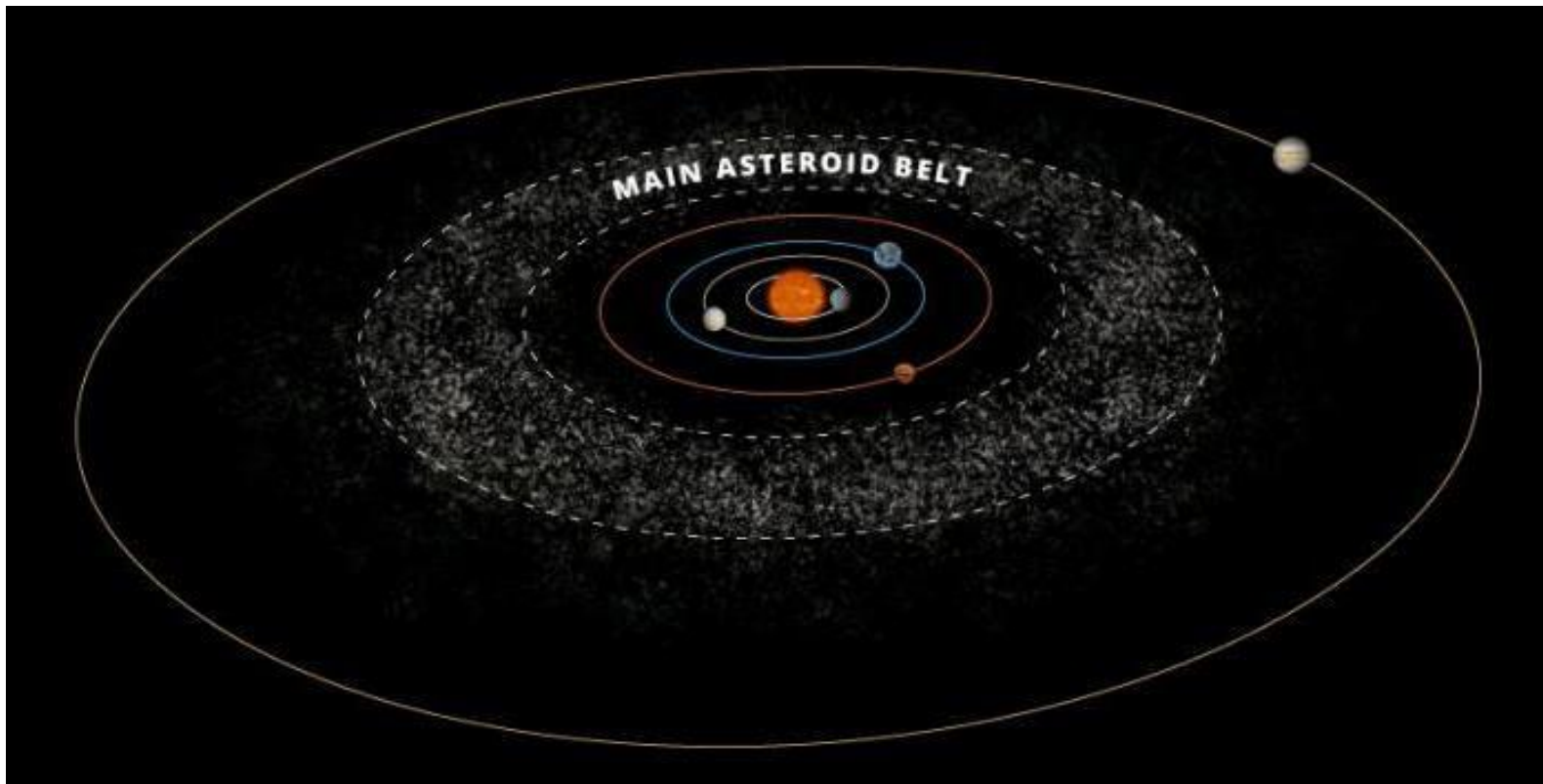
*Точно так же, как и кольцами: гравитационным захватом крупных объектов либо за счет потери собственного вещества.*

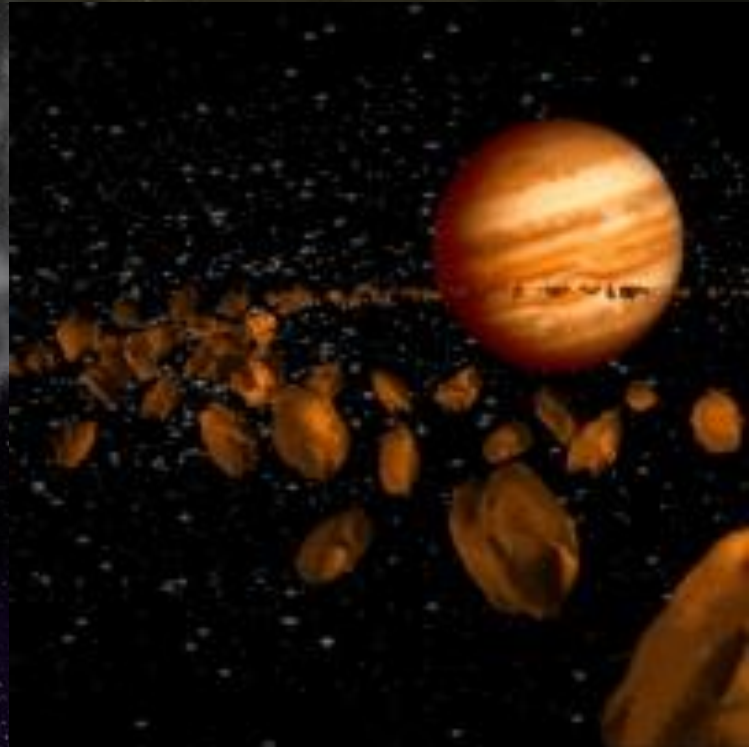
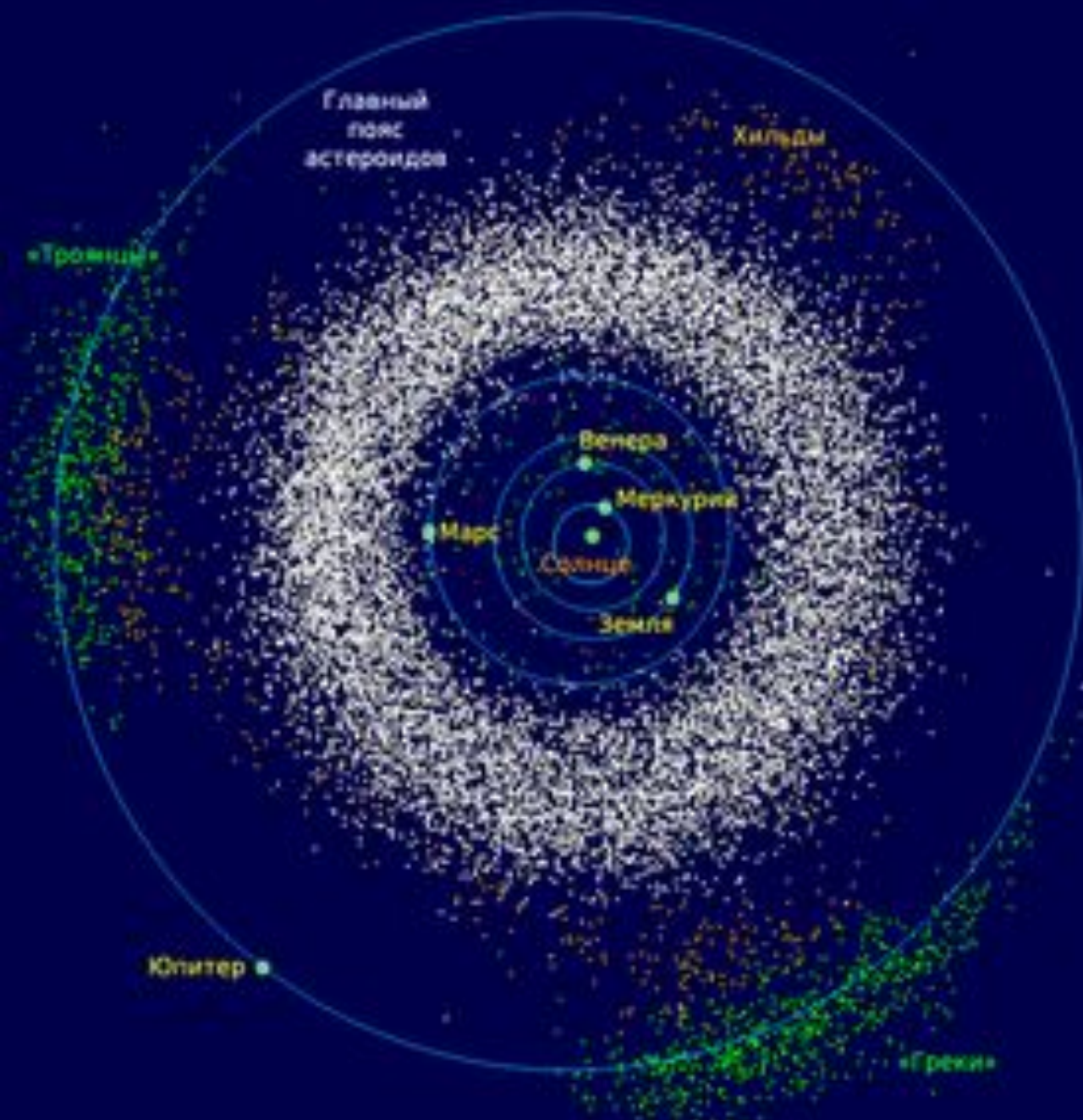
# Лекция 6. Малые небесные тела

- **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.

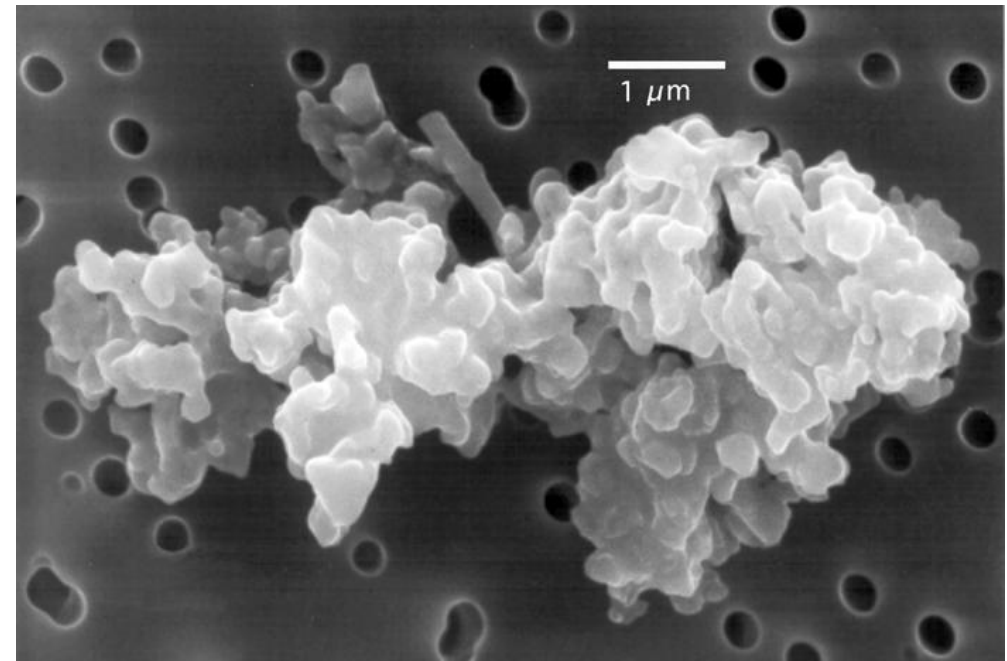


- **Астероиды** — космические тела, уступающие по массе и размерам планетам, имеющие неправильную форму и не имеющие атмосферы.
- Астероиды образуют **пояс астероидов** и **группы троянских астероидов**.
- **Троянские астероиды** — астероиды, находящиеся в окрестностях точек Лагранжа L4 и L5 и находящиеся 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!**