

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!

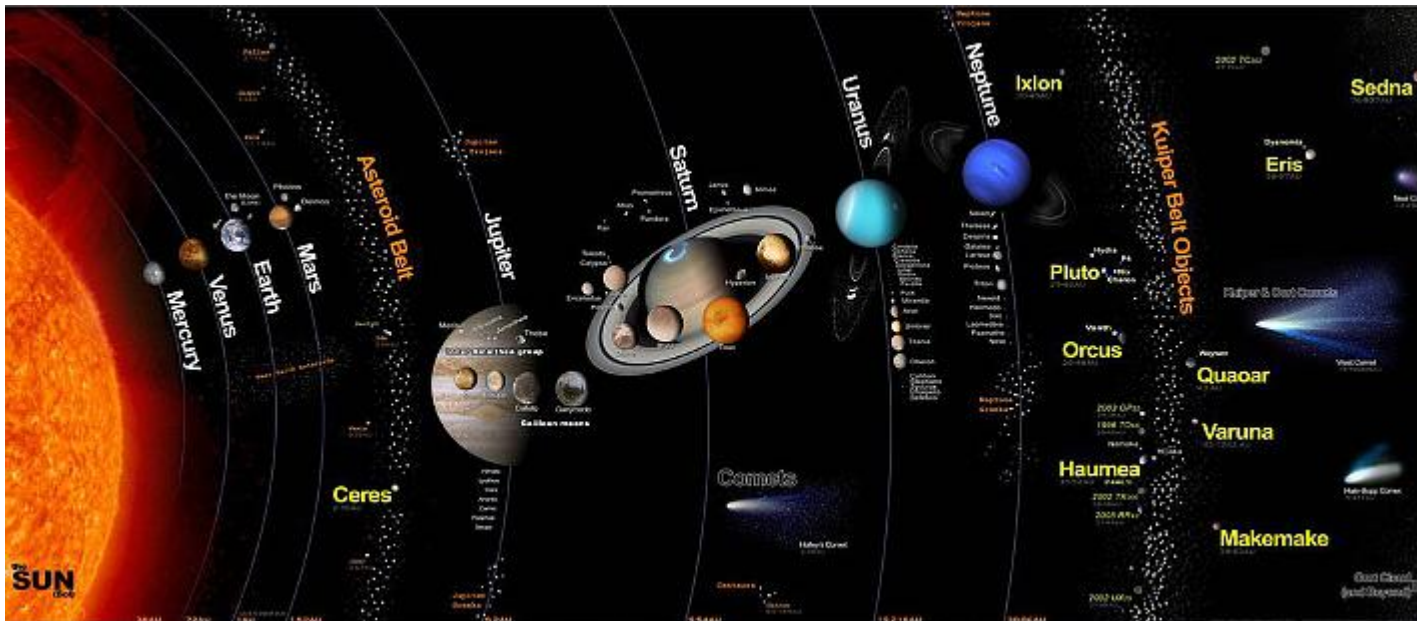
Содержание

- 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

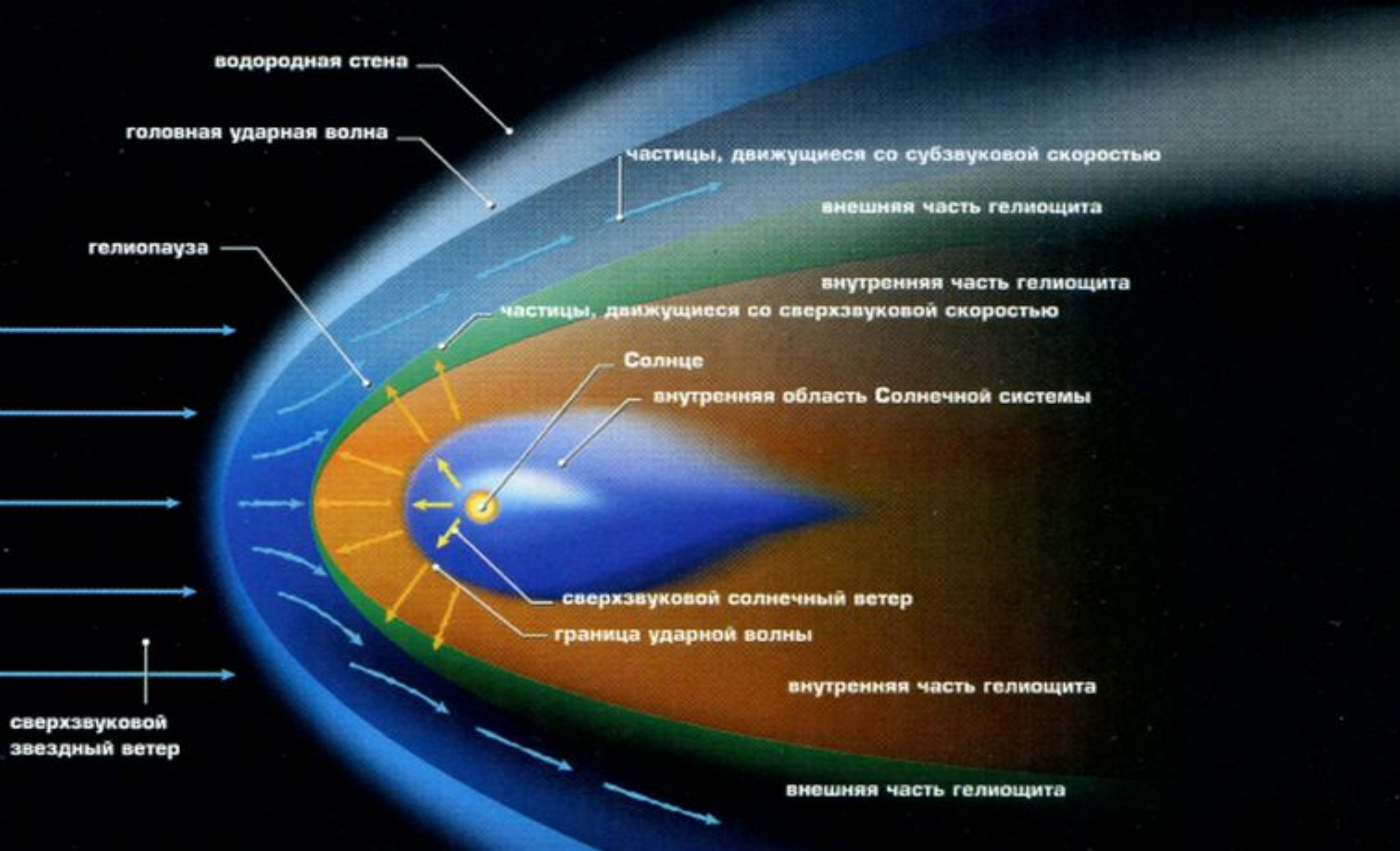
- **Планета** — небесное тело, обращающееся вокруг звезды, достаточно массивное для обретения сферической формы и очищения близлежащего пространства от космической пыли, но недостаточно массивное для начала термоядерных реакций в его недрах.
- **Планетная система** — система из звезды и не звездообразных 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

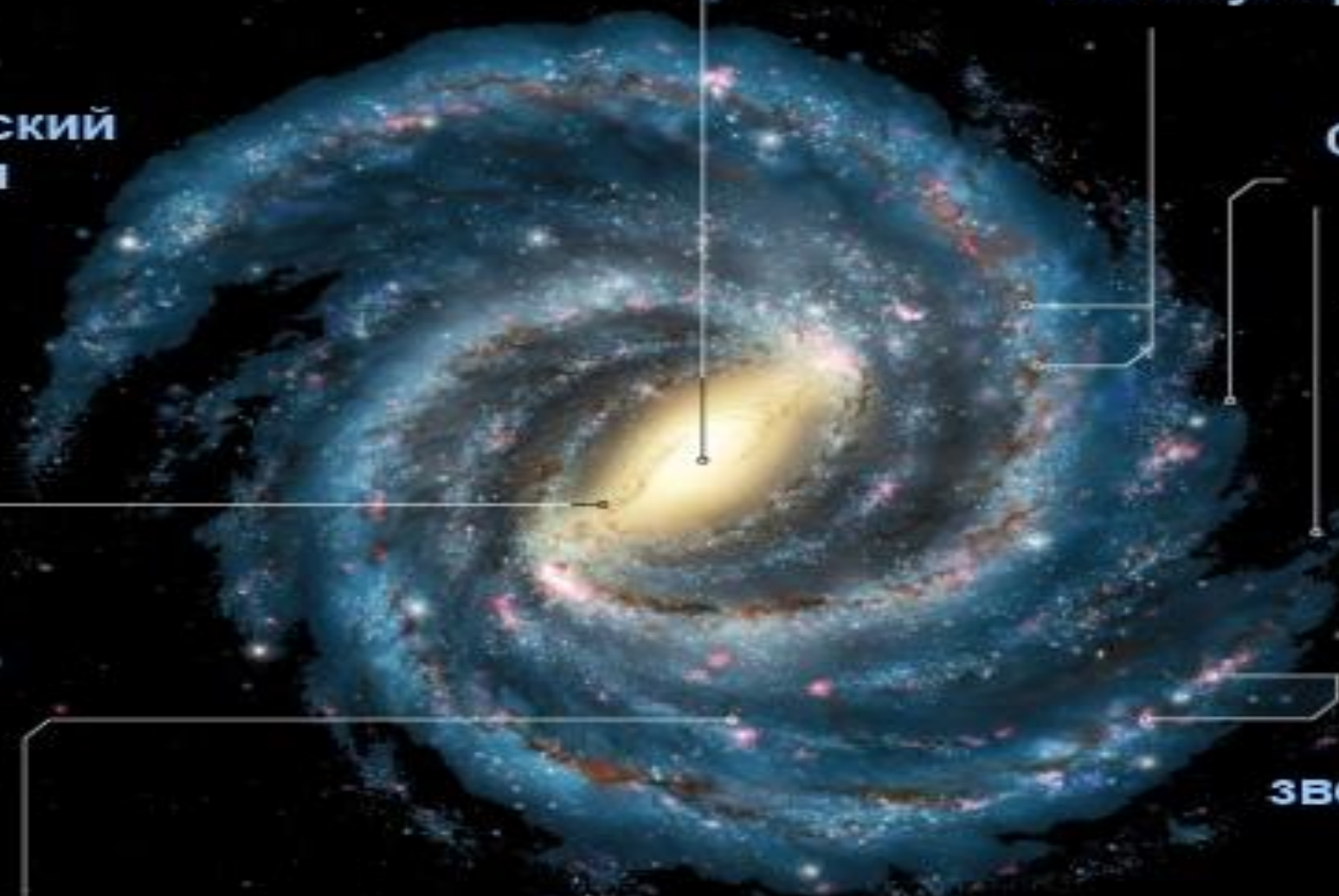
Молекулярные облака

**Галактический
выступ**

**Спиральные
рукава**

**Регионы
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).

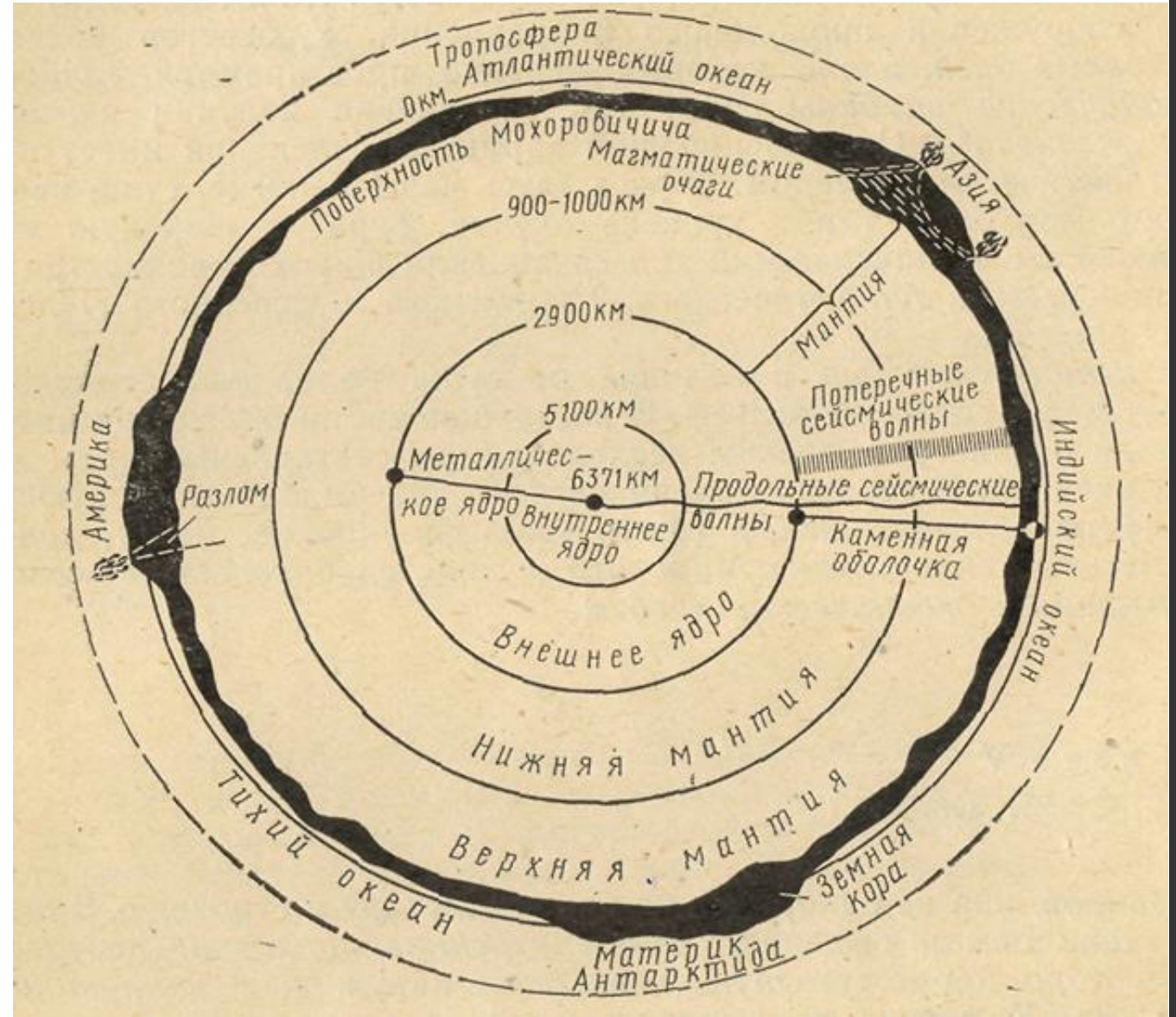
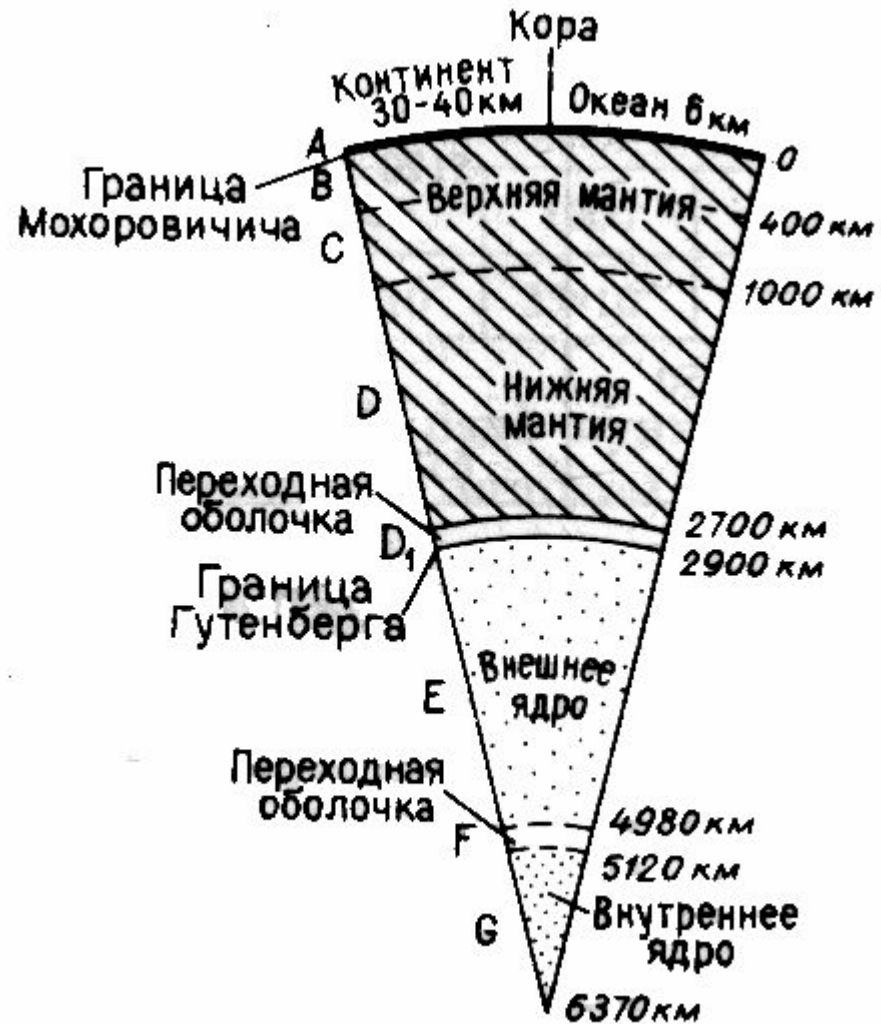
- Почему планеты движутся? Могут ли они остановиться?

*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

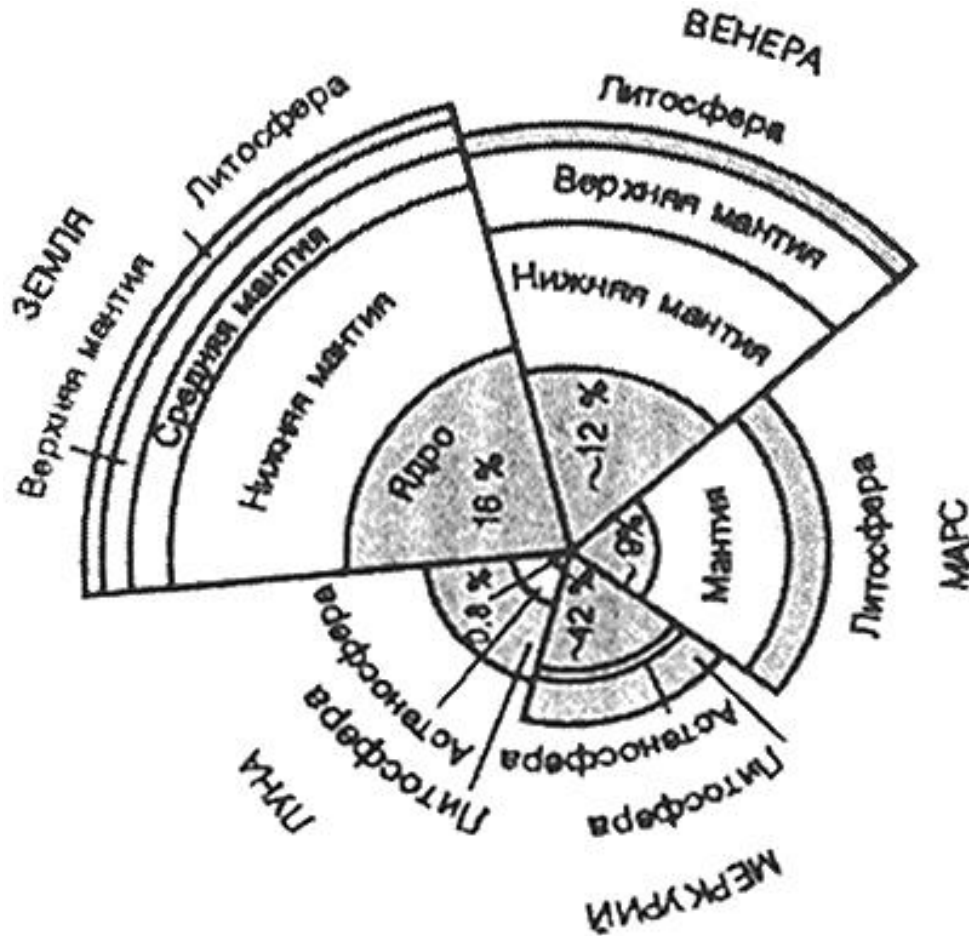
- Вещество планеты по температуре, давлению и другим физическим условиям разделяют на **ядро (внутреннее и внешнее), мантию (верхнюю, среднюю и нижнюю) и кору**. На следующих слайдах вы ознакомитесь с внутренним строением планет.
- Более тяжелое вещество стремится опуститься вниз, а более легкое — подняться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

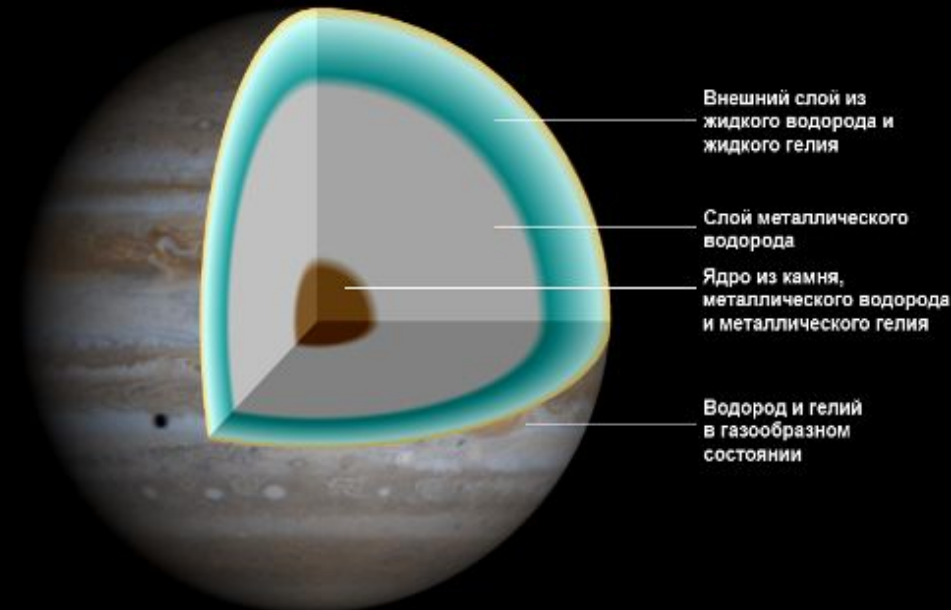
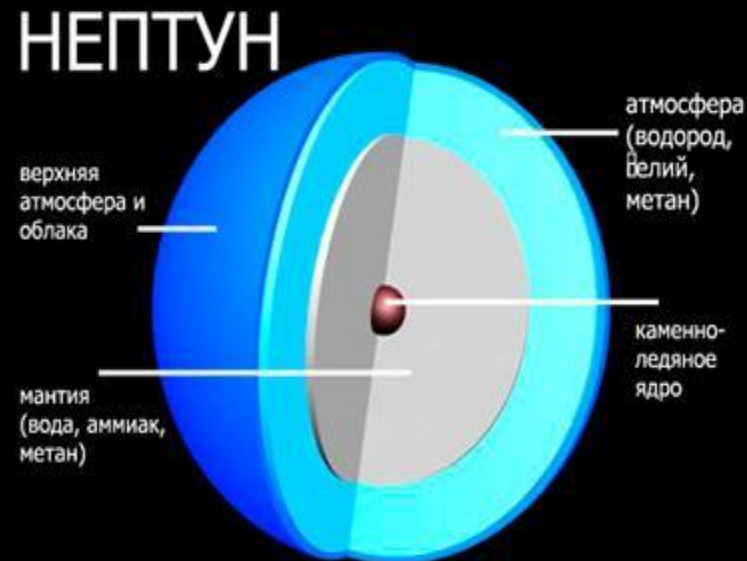
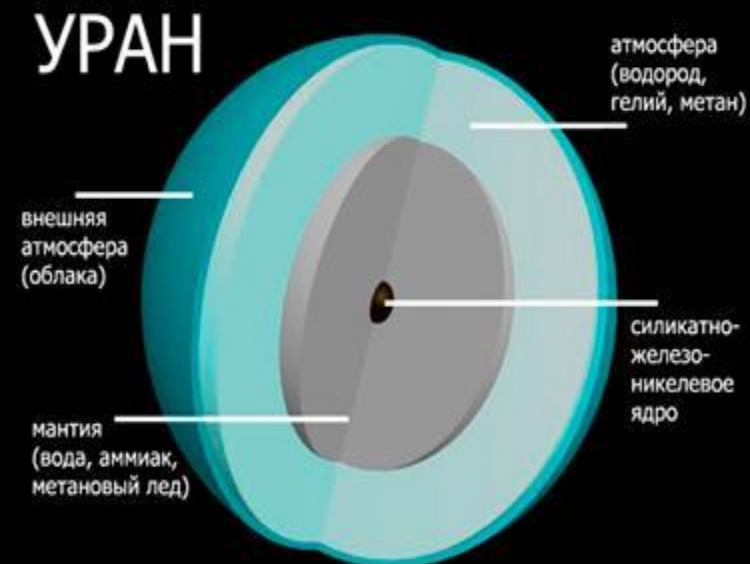
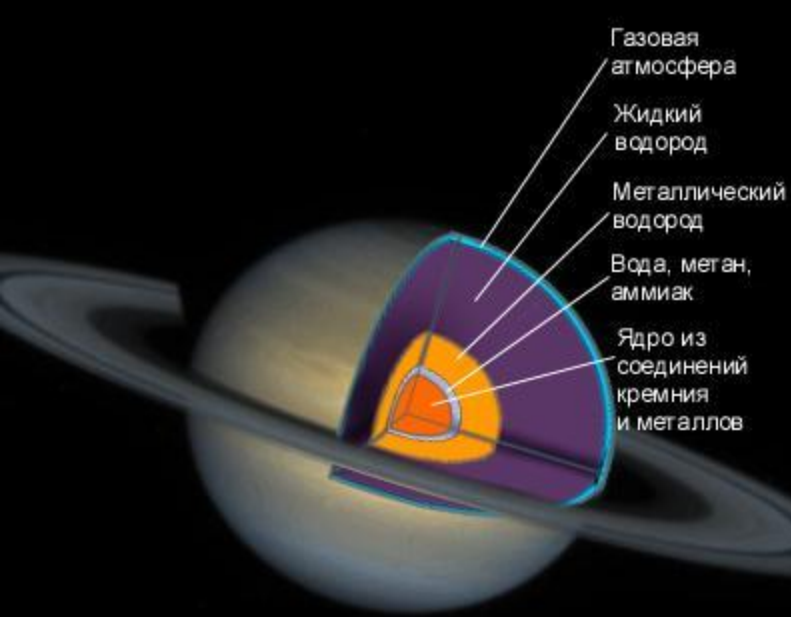
Граница Моховичича — между корой и мантией.

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?

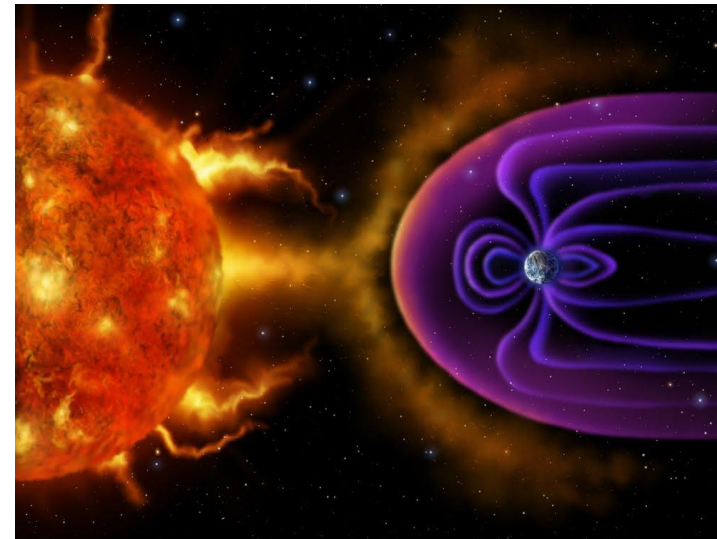
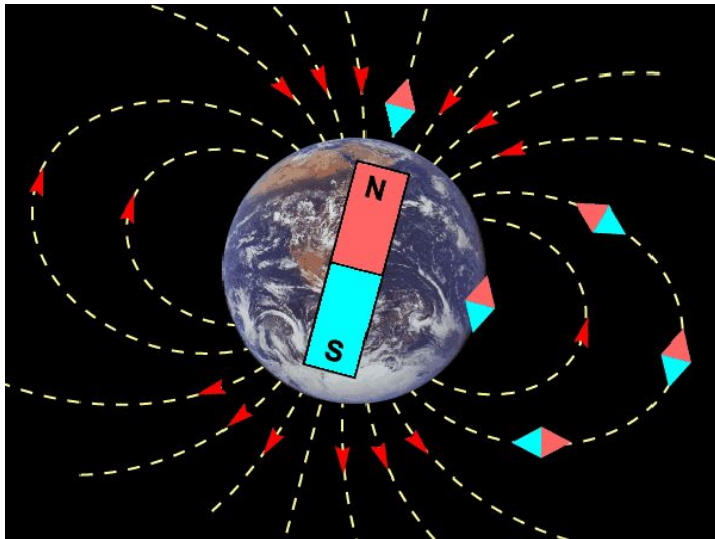
Да, когда полностью завершится гравитационная дифференциация, то не будет ни землетрясений, ни извержений вулканов.

- 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.



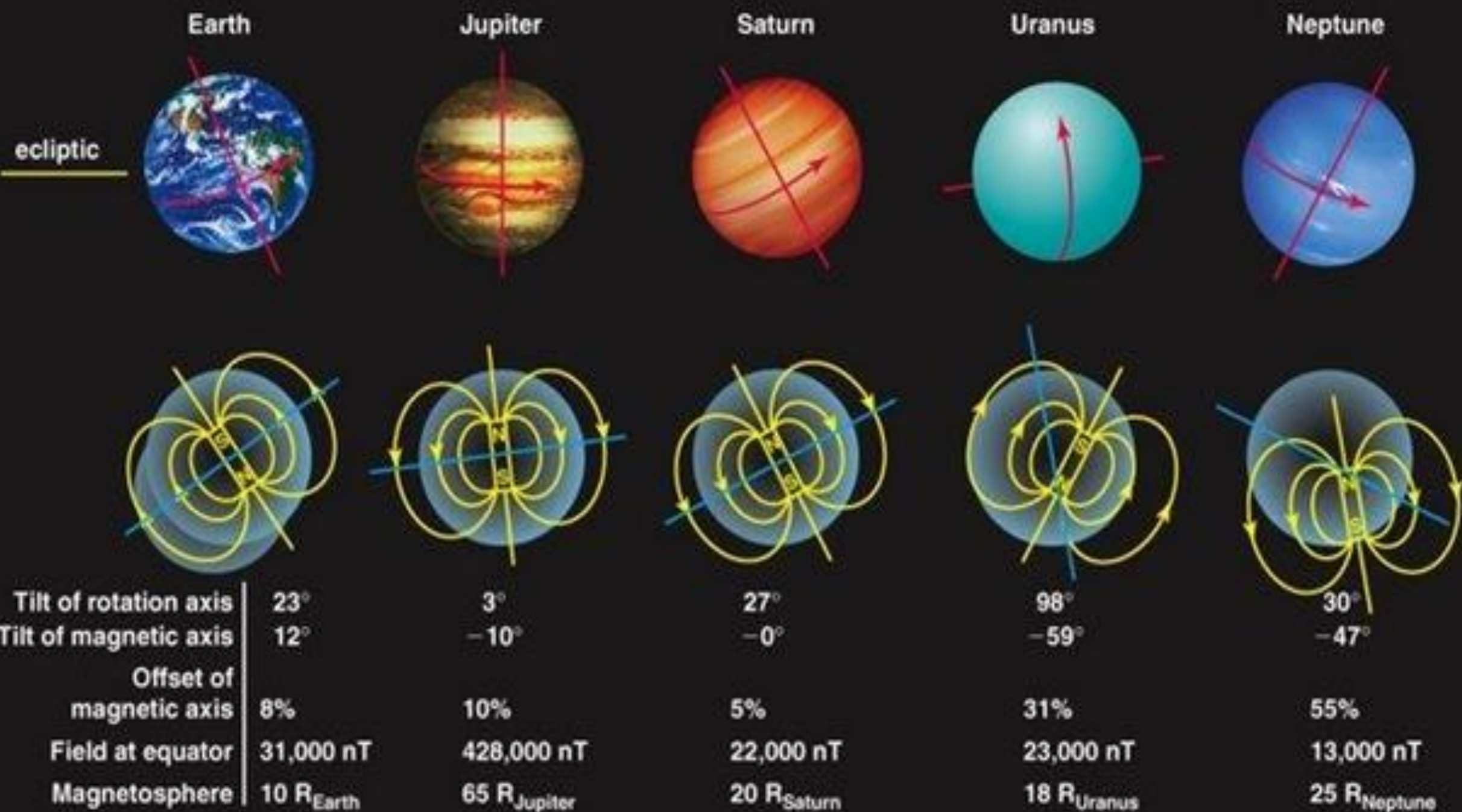
Магнитное поле Земли

- 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)

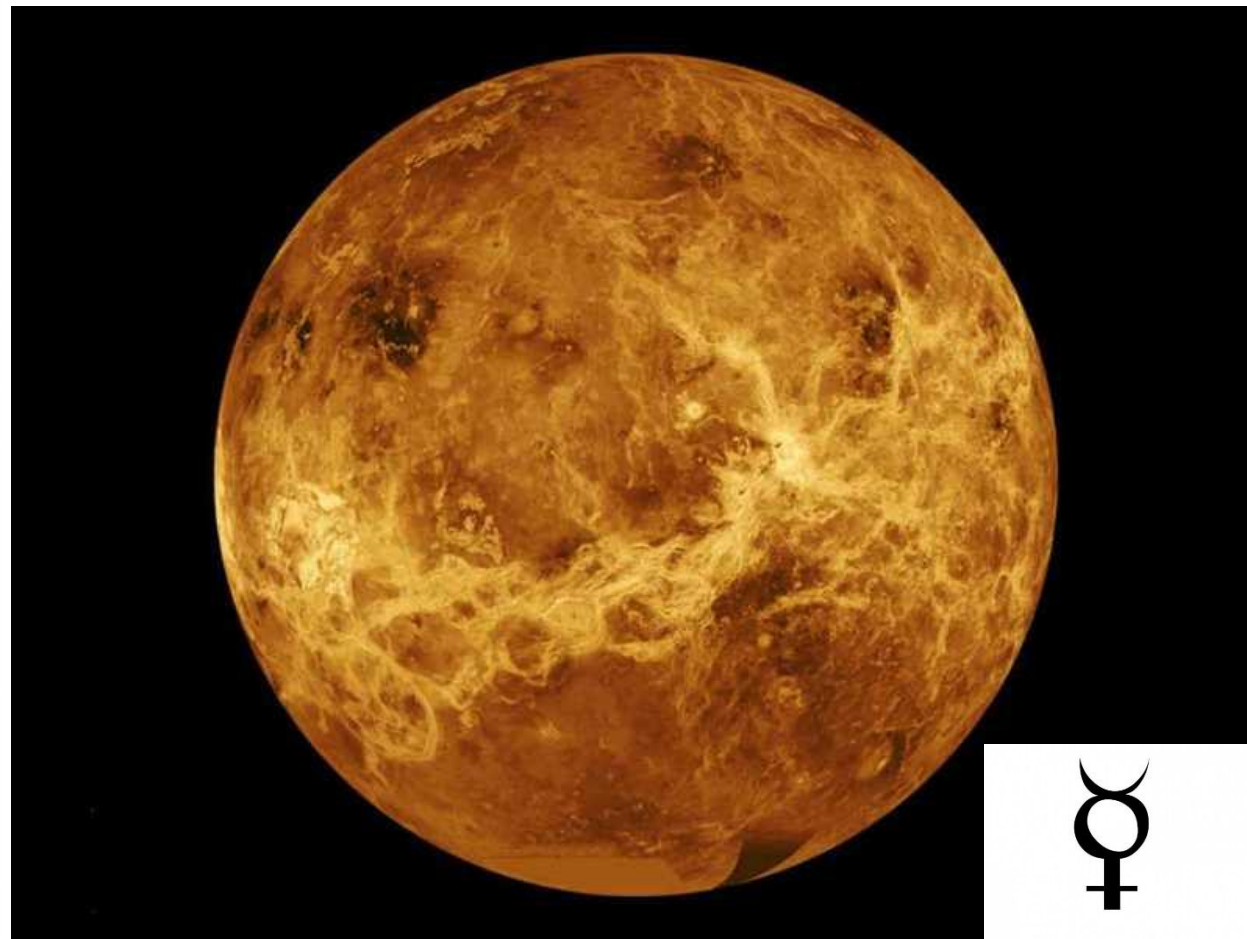


Лекция 4. Данные о планетах Солнечной системы

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

Меркурий

Удаленность от Солнца (а.е.)	Афелий — 0,467 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 ³)	5,43
Ускорение силы тяжести (м/с ²)	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 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 ³)	5,24
Ускорение силы тяжести (м/с ²)	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 H_2SO_4 и 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.

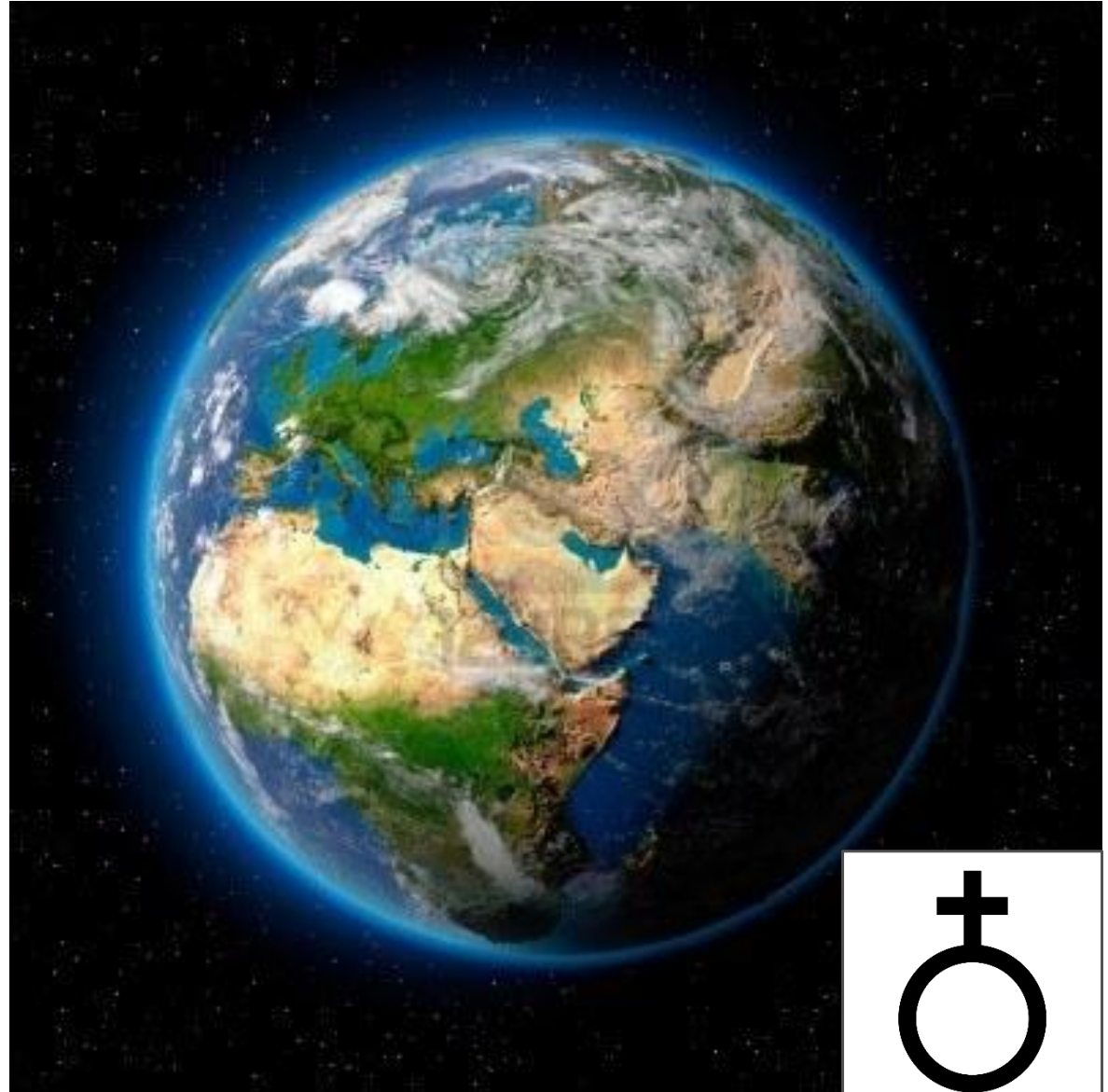
Поверхность планеты покрыта равнинами и горами вулканического происхождения, число кратеров незначительно по сравнению с Меркурием или Луной, т.к. астероиды дотла сгорают в плотной атмосфере.

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 ³)	5,515
Ускорение силы тяжести (м/с ²)	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 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)	$6,419 \cdot 10^{23}$
Экваториальный радиус (км)	3397
Полярный радиус (км)	3382
Сжатие	0,0052
Средняя плотность (г/см ³)	3,94
Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с ²)	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 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 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 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 ³)	1,33
Ускорение силы тяжести (м/с ²)	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

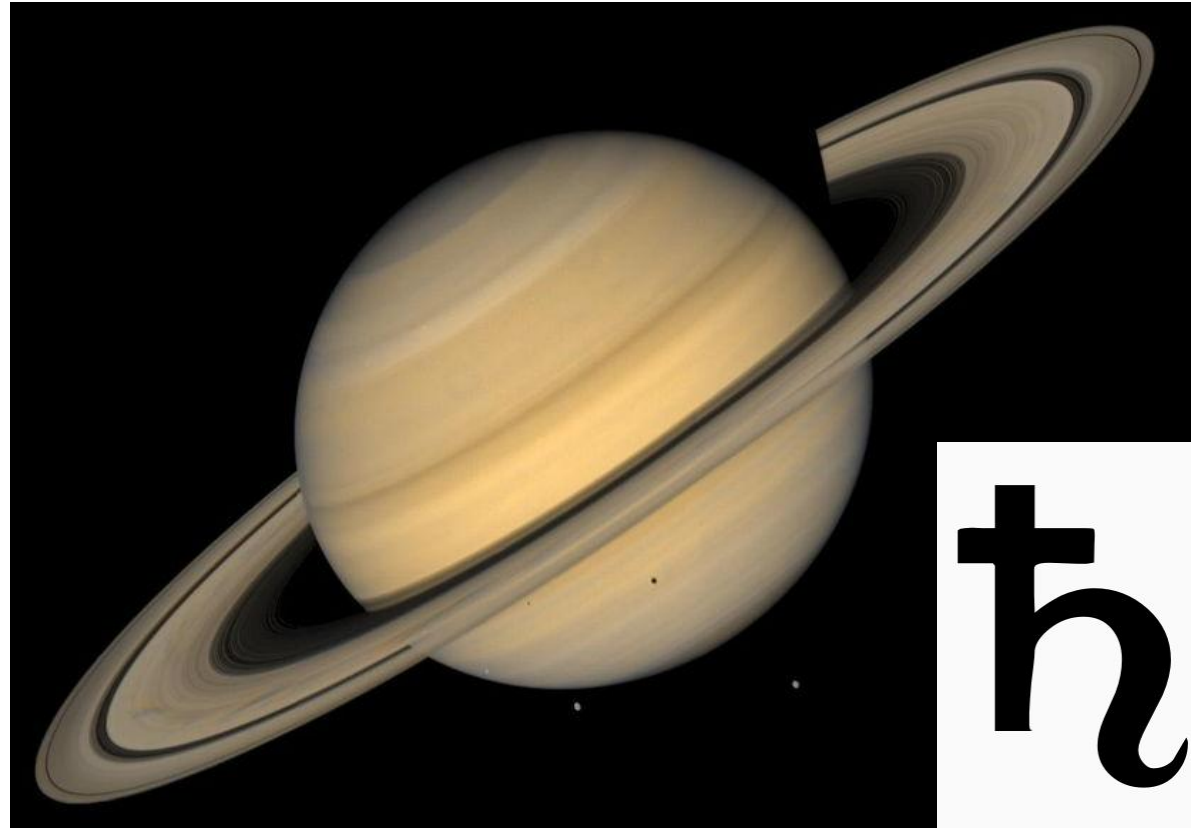
Юпитер — крупнейшая планета Солнечной системы. Его масса превышает суммарную массу остальных планет, вместе взятых. **Юпитер — второй по мощности радиоисточник Солнечной системы (после Солнца).**

Атмосфера Юпитера состоит из трех слоев: верхнего (H_2), среднего (H_2 и He) и нижнего (облака оледеневшего NH_3 , кристаллического NH_4HS 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 ³)	0,69
Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с ²)	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



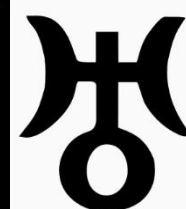
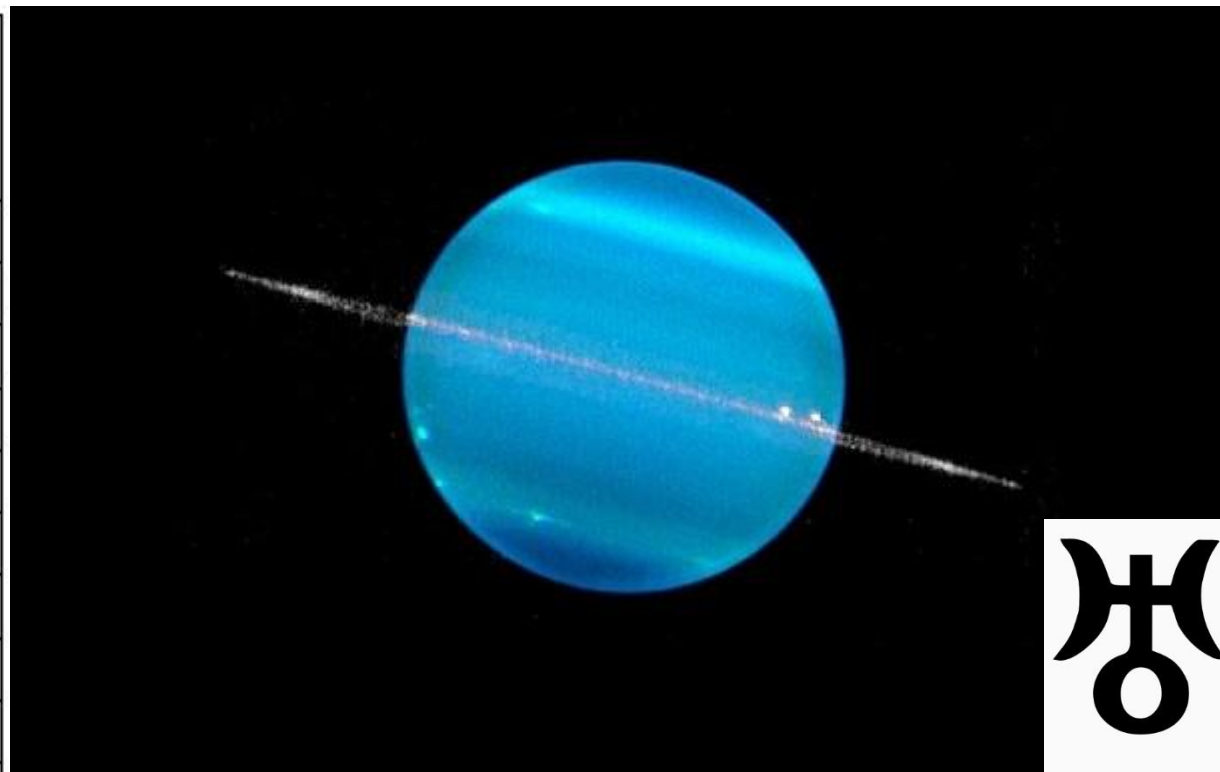
Сатурн — шестая планета Солнечной системы.

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° 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 ³)	1,30
Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с ²)	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°C). Полагают, что у Урана облака имеют сложное строение, где H_2O составляет нижний слой, а 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 ³)	1,64
Ускорение силы тяжести на экваторе (м/с ²)	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?

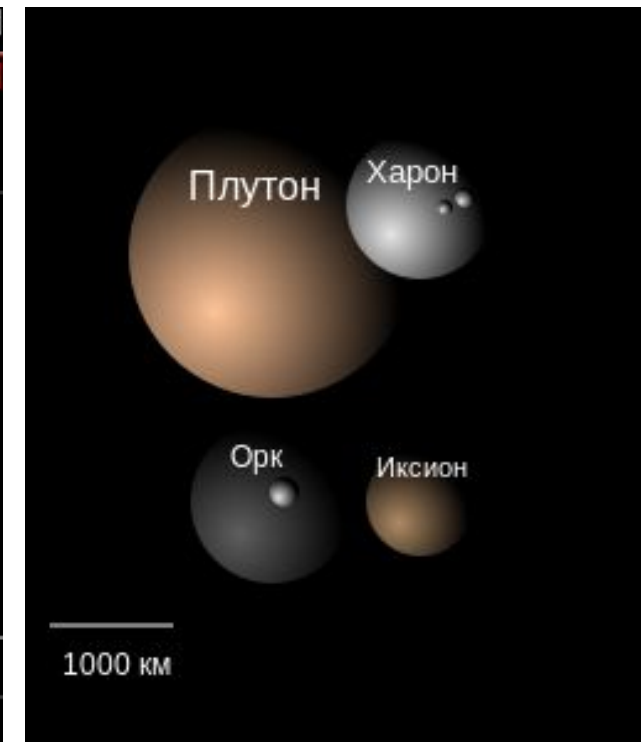
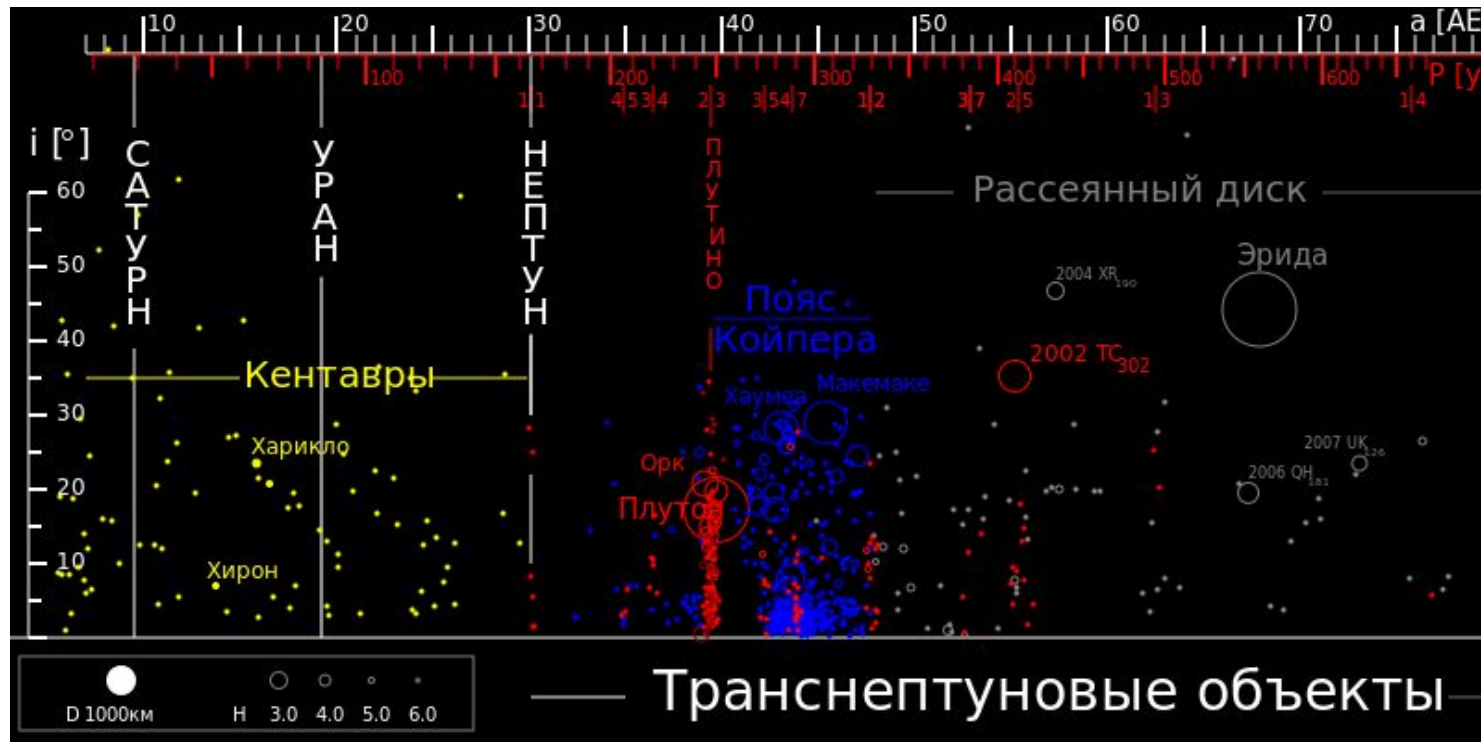
В настоящий момент только газовые и ледяные гиганты. Возможно, кольцевая система была и у планет земной группы, но разрушилась из-за гравитационной неустойчивости.

- Как планеты обзаводятся спутниками?

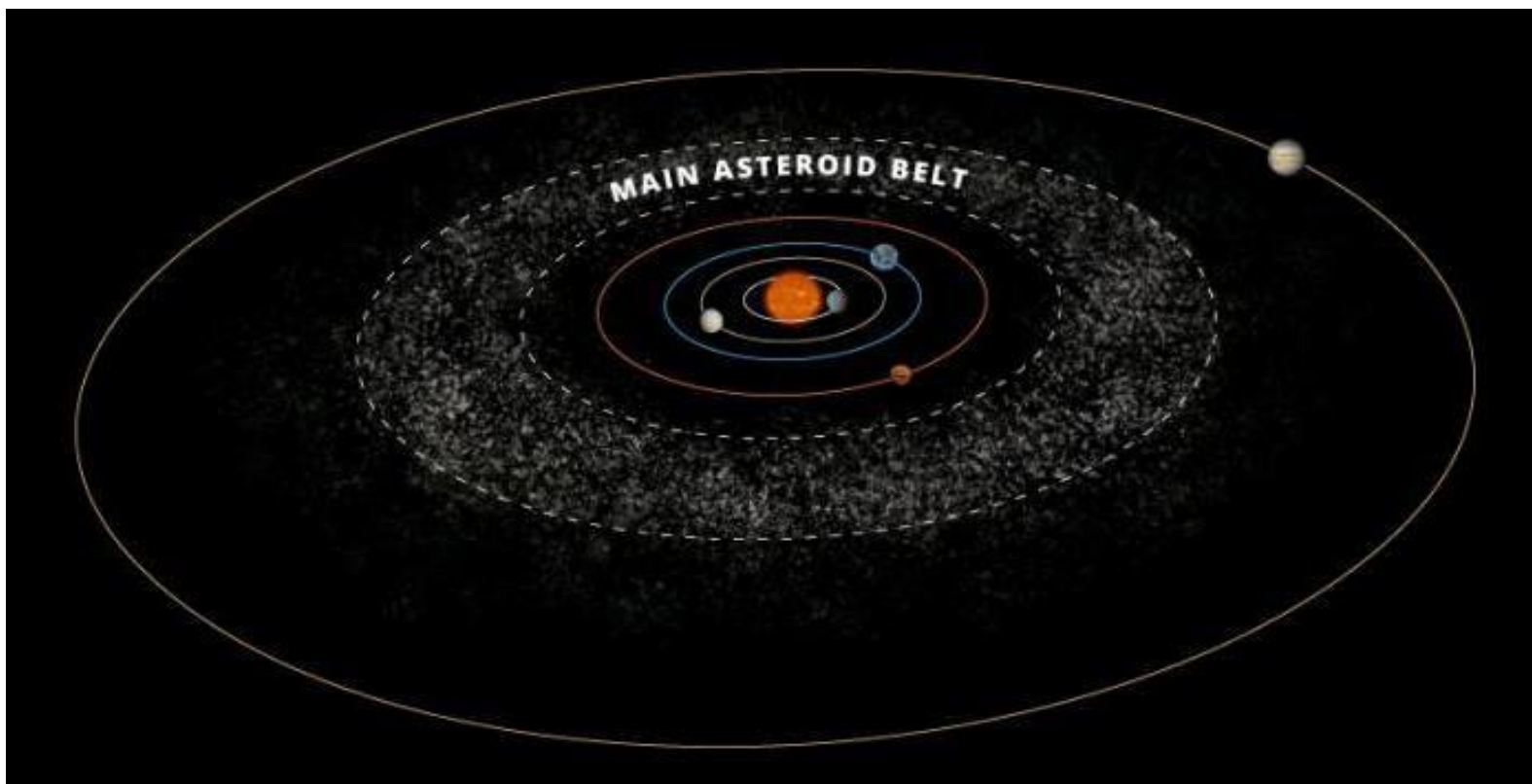
Точно так же, как и кольцами: гравитационным захватом крупных объектов либо за счет потери собственного вещества.

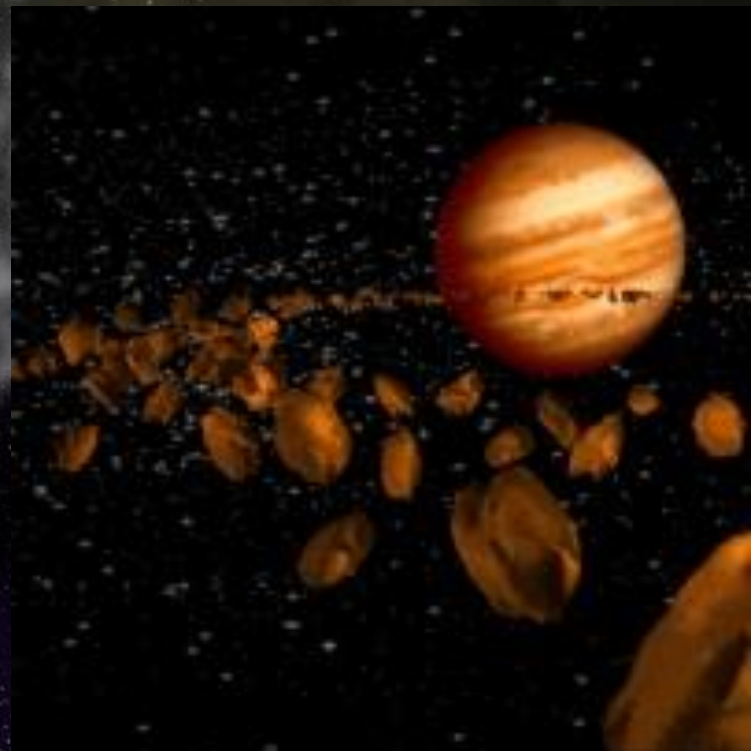
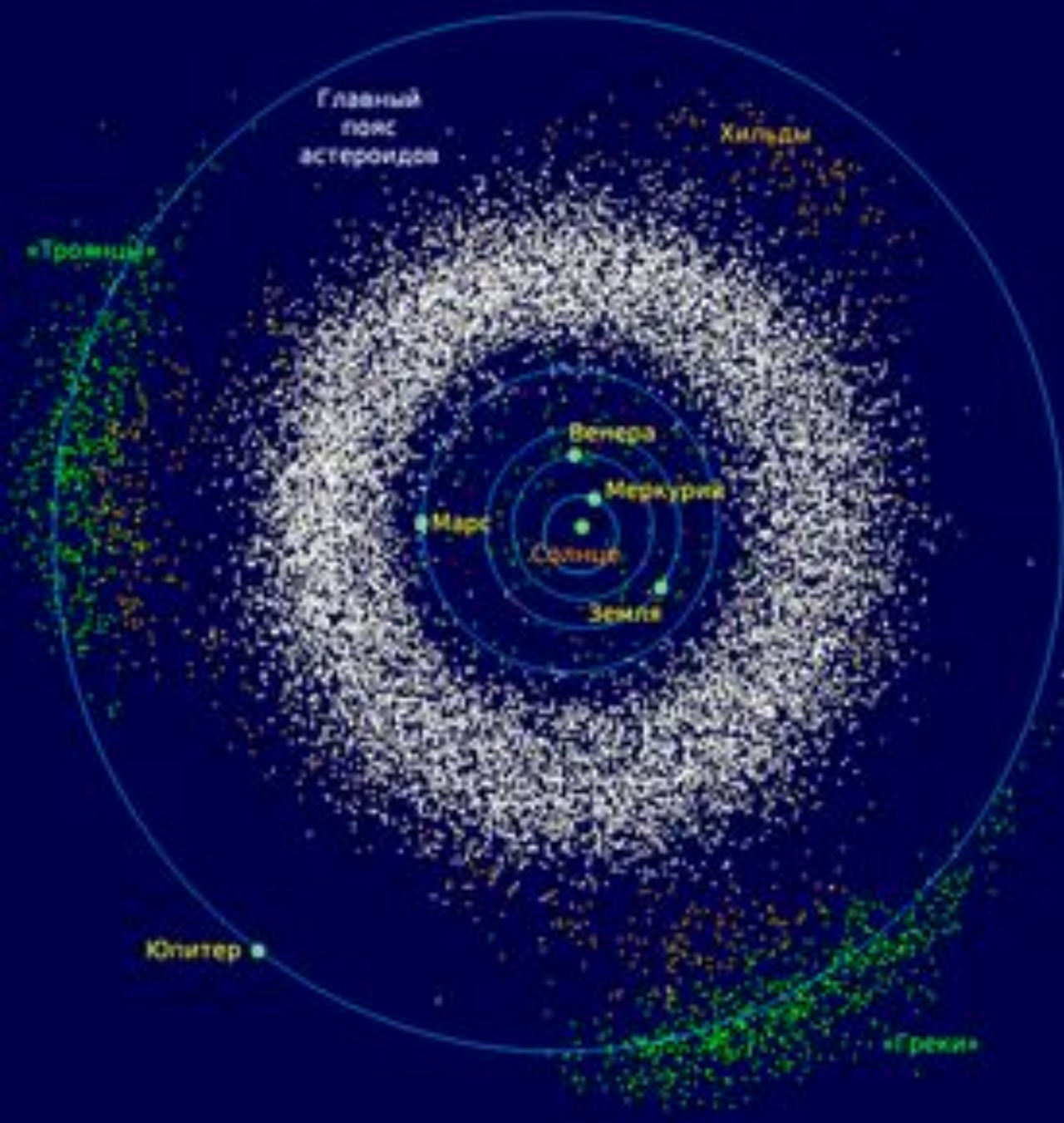
Лекция 6. Малые небесные тела

- **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.

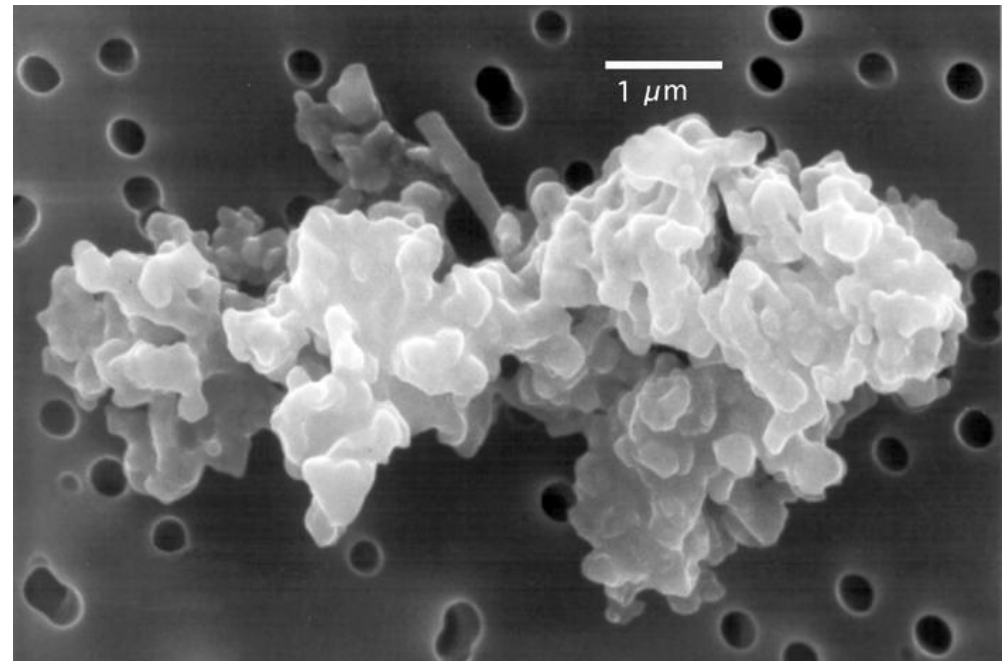


- **Астероиды** — космические тела, уступающие по массе и размерам планетам, имеющие неправильную форму и не имеющие атмосферы.
- Астероиды образуют **пояс астероидов** и **группы троянских астероидов**.
- **Троянские астероиды** — астероиды, находящиеся в окрестностях точек Лагранжа L4 и L5 и находящиеся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