

# Тема 3. Химия планетных тел

В составе Солнечной системы выделяются:

1. Солнце

2. Планеты:

    планеты земной группы

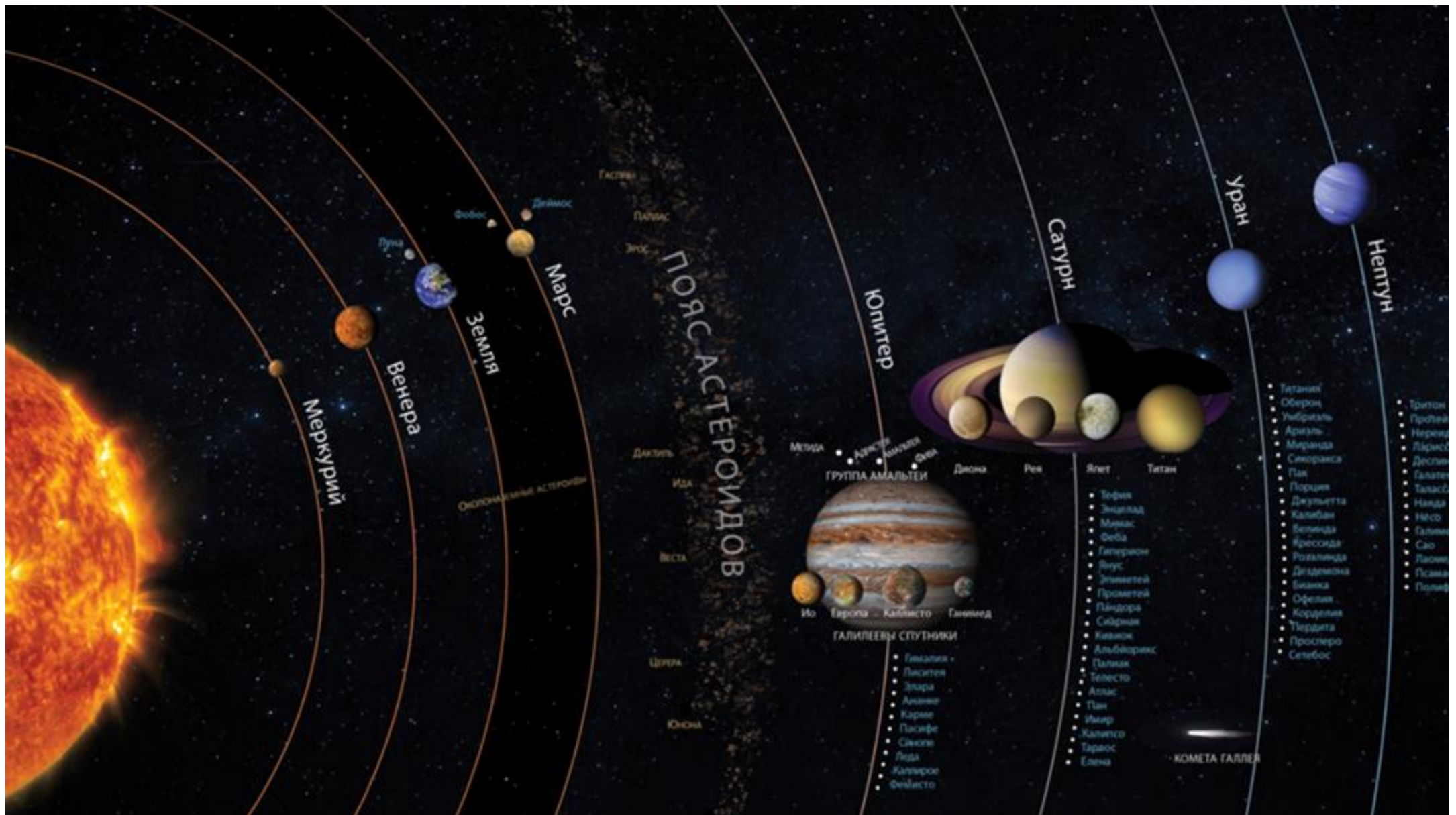
    планеты – гиганты

    карликовые планеты (Церера, Плутон, Хаумеа и др.)

3. Астероиды (пояс астероидов и группы астероидов)

4. Кометы

5. Метеориты

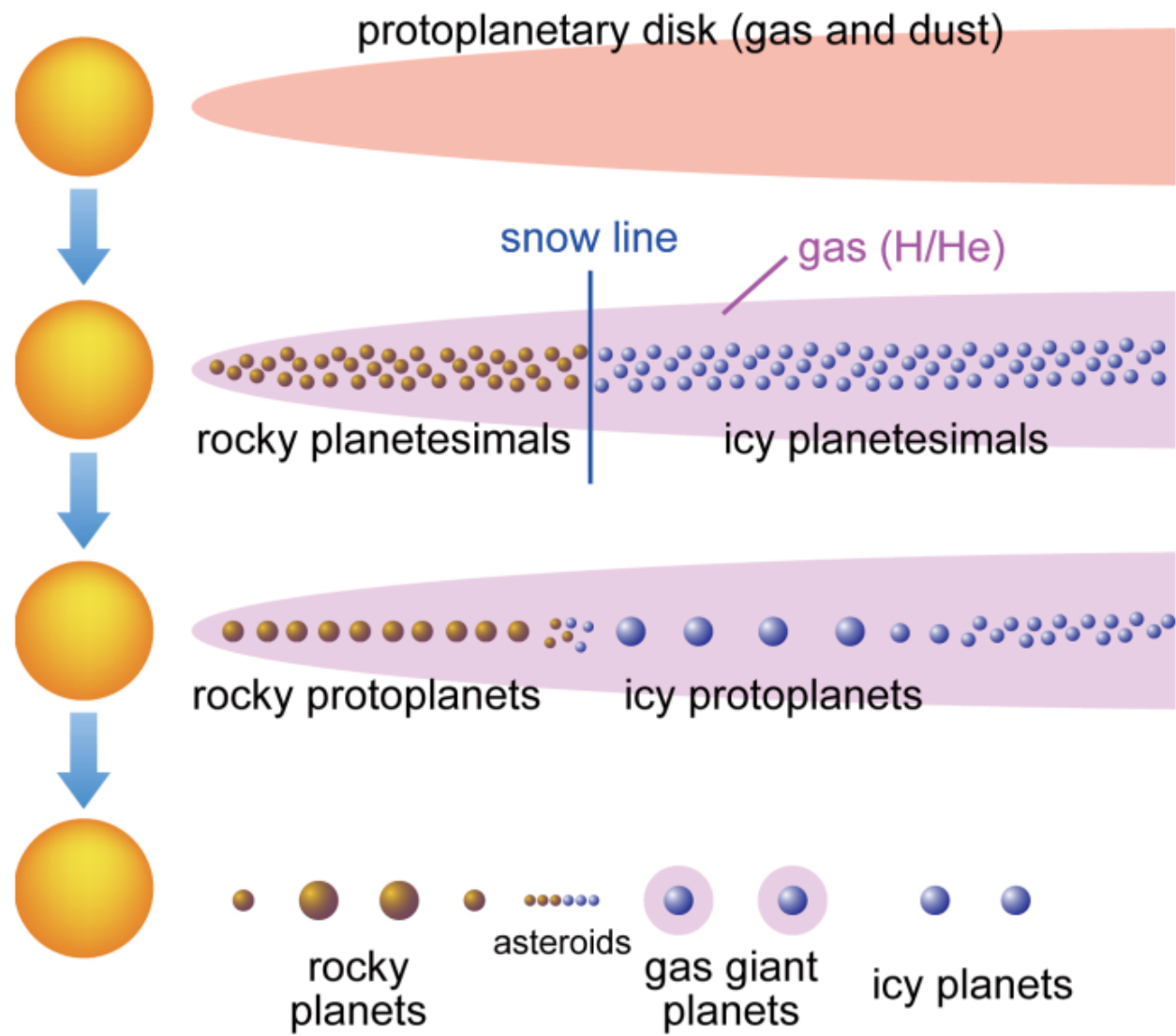


Планеты Солнечной системы

Отличия планет – гигантов от планет земной группы

- большие массы (Юпитер – 318 земных масс)
- мощные атмосферы (состав  $\text{H}_2$ -He- $\text{CH}_4$ - $\text{NH}_3$ -...)
- многочисленные спутники и кольца

Вероятная причина отличий - неоднородность протопланетного облака. Планеты-гиганты формируются в его внешней части – холодной (ледяной) и обогащенной летучими компонентами.



Различия в последовательности формирования планет земной группы («каменных») и планет – «газовых гигантов». По [Genda, 2016].

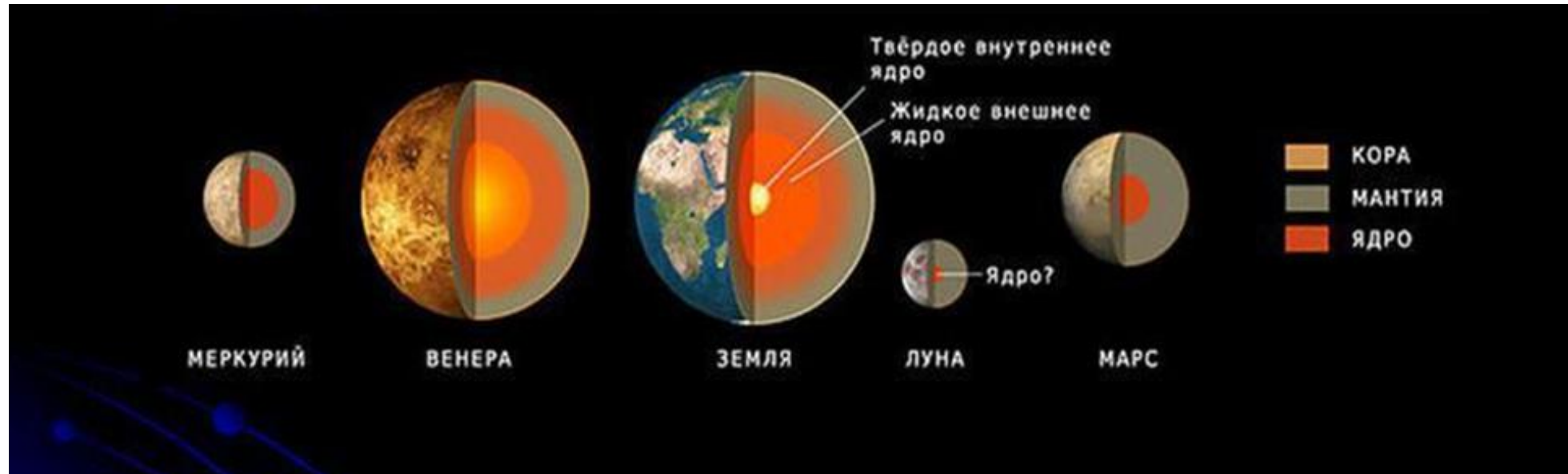
## Свойства планет земной группы

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс
Радиус (З ≡ 1)	0,382	0,949	≡ 1	0,272	0,532
Объем (З ≡ 1)	0,06	0,87	≡ 1	0,02	0,15
Масса (З ≡ 1)	0,055	0,816	≡ 1	0,012	0,107
Ср. плотность, г/см <sup>3</sup>	5,43	5,24	5,52	3,35	3,95
Объемная доля ядра, %	~60	~30	32,3	1	19
Преобладающие породы коры	базальты (?)	базальты (?)	базальты, граниты	анортозиты базальты	основные
Атмосфера	–	93% CO <sub>2</sub> , 3,5% N <sub>2</sub> , 70 бар	78% N <sub>2</sub> , 21% O <sub>2</sub> , 1 бар	–	CO <sub>2</sub> , 0,05 бар
Гидросфера	–	–	+	–	?
Биосфера	–	–	+	–	?

## Свойства планет земной группы

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс
Радиус (З ≡ 1)	0,382	0,949	≡ 1	0,272	0,532
Объем (З ≡ 1)	0,06	0,87	≡ 1	0,02	0,15
Масса (З ≡ 1)	0,055	0,816	≡ 1	0,012	0,107
Ср. плотность, г/см <sup>3</sup>	5,43	5,24	5,52	3,35	3,95
<b>Объемная доля ядра, %</b>	<b>~60</b>	<b>~30</b>	<b>32,3</b>	<b>1</b>	<b>19</b>
Преобладающие породы коры	базальты (?)	базальты (?)	базальты, граниты	анортозиты базальты	основные
Атмосфера	–	93% CO <sub>2</sub> , 3,5% N <sub>2</sub> , 70 бар	78% N <sub>2</sub> , 21% O <sub>2</sub> , 1 бар	–	CO <sub>2</sub> , 0,05 бар
Гидросфера	–	–	+	–	?
Биосфера	–	–	+	–	?

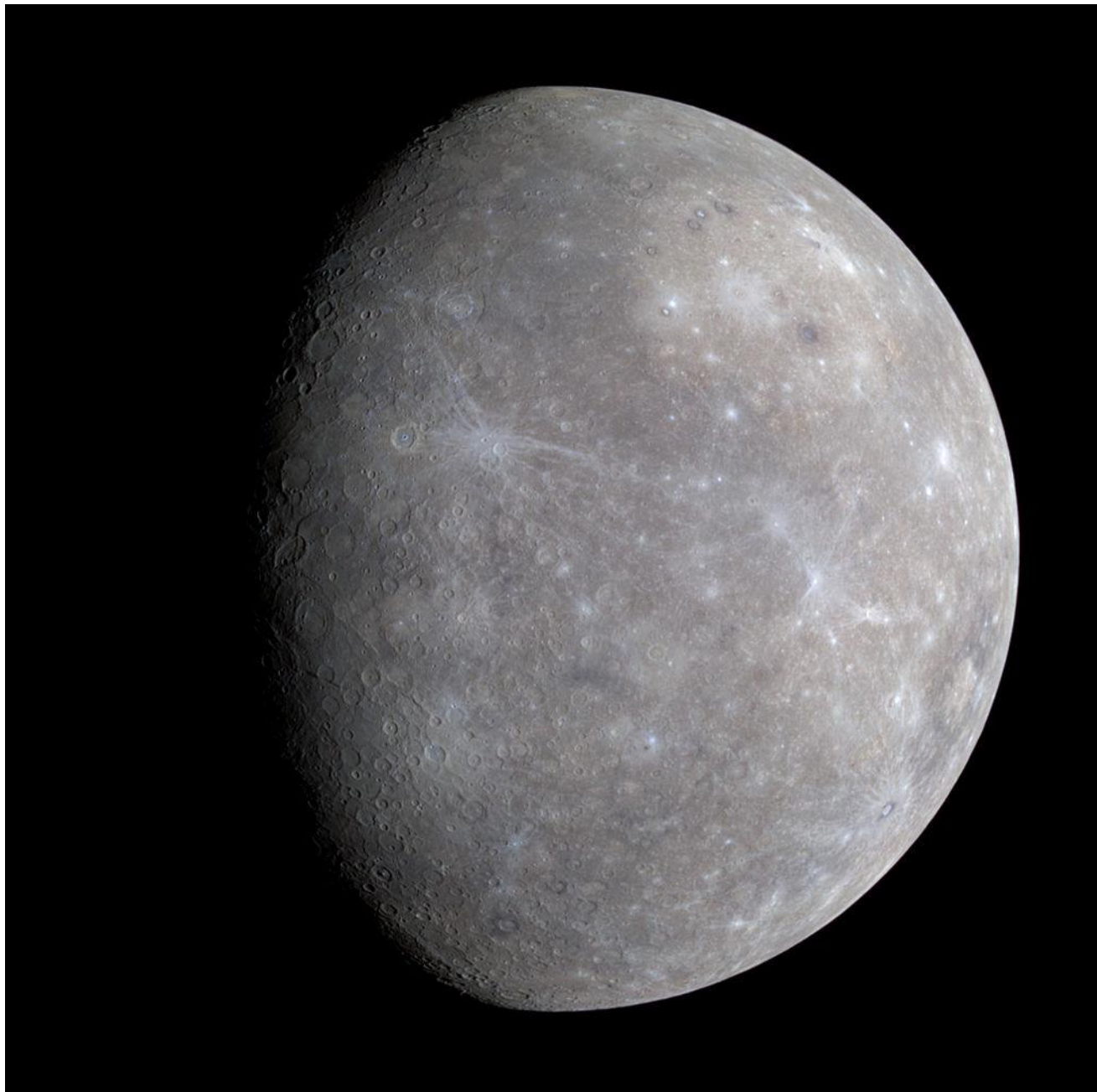
Главная особенность внутреннего строения планет земной группы – расслоенность на оболочки разной плотности, наличие очень плотного (металлического) ядра.





## Свойства планет земной группы

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс
Радиус (З ≡ 1)	0,382	0,949	≡ 1	0,272	0,532
Объем (З ≡ 1)	0,06	0,87	≡ 1	0,02	0,15
Масса (З ≡ 1)	0,055	0,816	≡ 1	0,012	0,107
Ср. плотность, г/см <sup>3</sup>	5,43	5,24	5,52	3,35	3,95
Объемная доля ядра, %	~60	~30	32,3	1	16
Преобладающие породы коры	базальты (?)	базальты (?)	базальты, граниты	анортозиты базальты	основные
Атмосфера	–	93% CO <sub>2</sub> , 3,5% N <sub>2</sub> , 70 бар	78% N <sub>2</sub> , 21% O <sub>2</sub> , 1 бар	–	CO <sub>2</sub> , 0,05 бар
Гидросфера	–	–	+	–	?
Биосфера	–	–	+	–	?



Меркурий.

Фото с космического зонда  
MESSENGER.

.

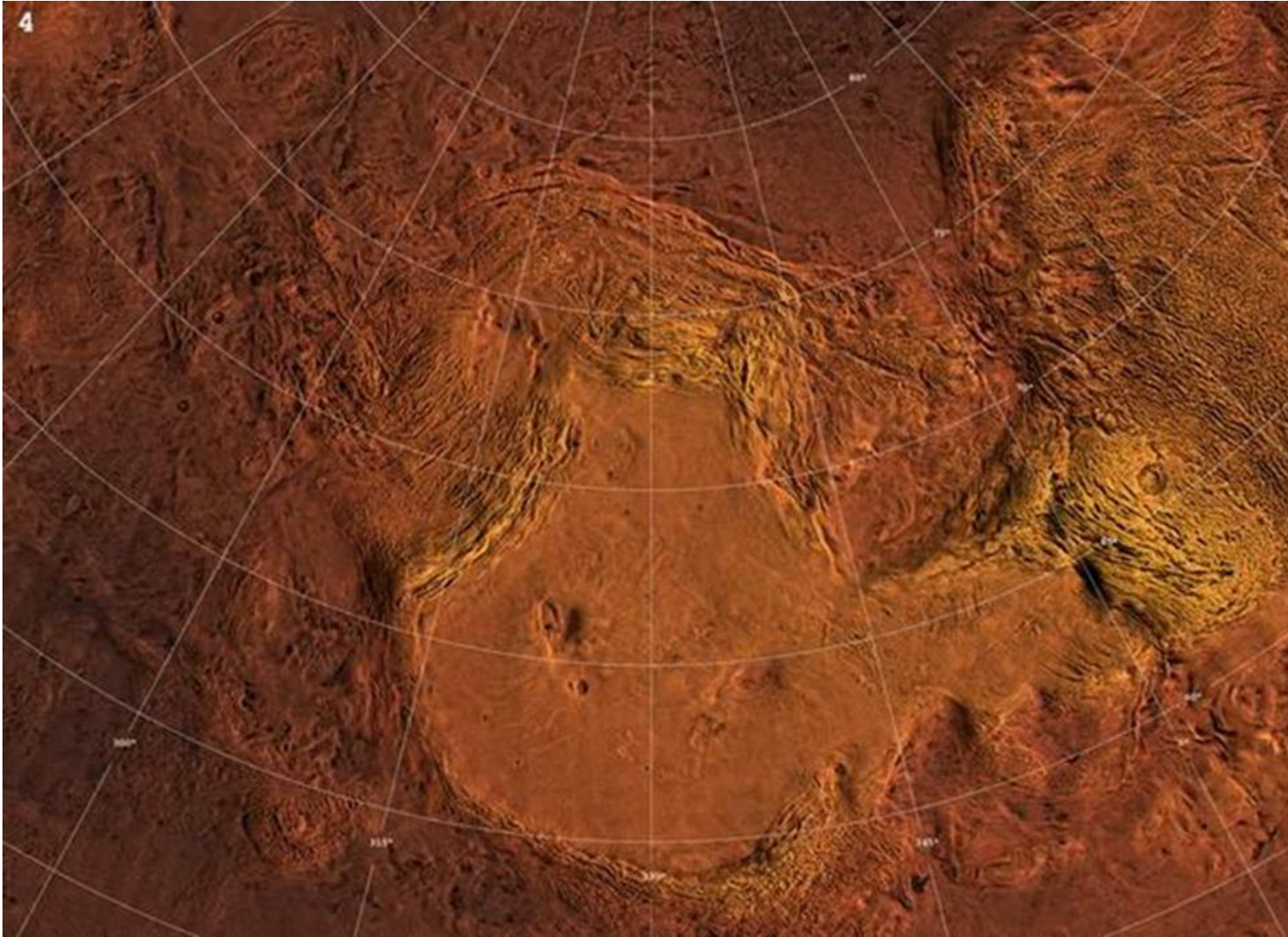


# Поверхность Венеры

Фото межпланетной  
станции «Венера-13».

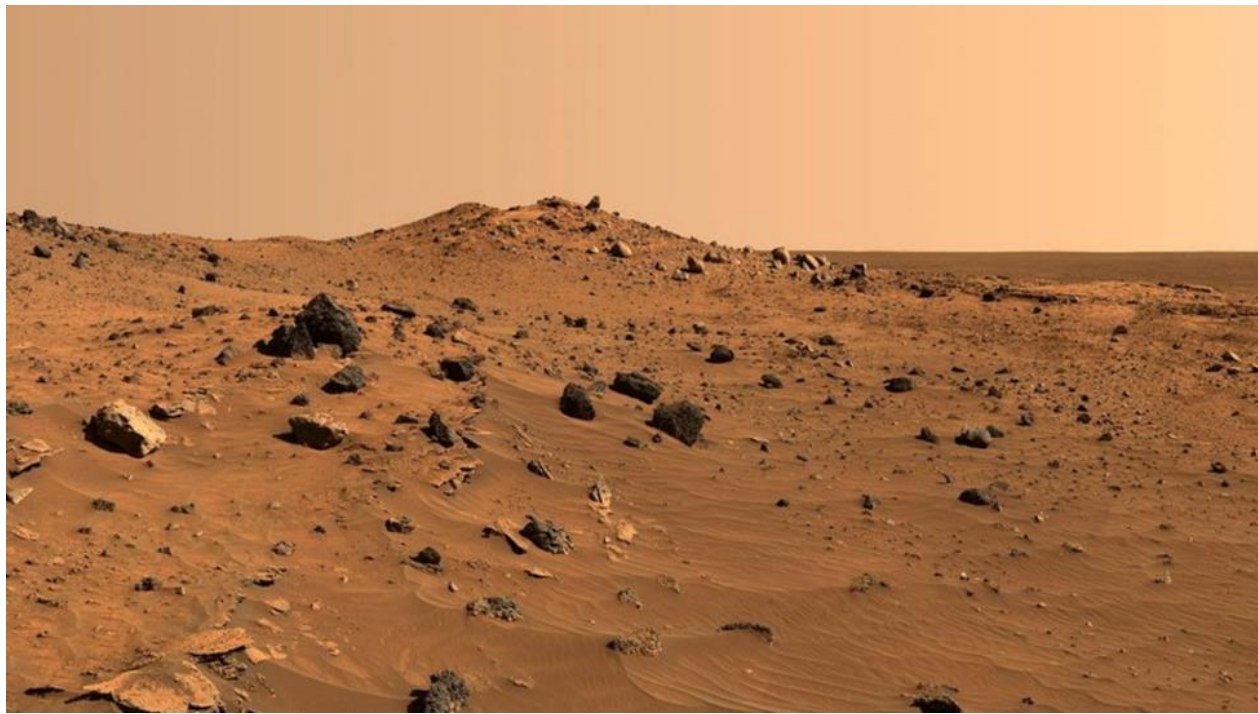
.





## Рельеф поверхности Венеры

Реконструкция по данным  
радарного картирования.



Фотографии  
поверхности  
Марса







«Каналы» на  
поверхности  
Марса.

Природа разделения на две главные по массе оболочки – ядро и мантию.



Разделение изначально однородной планеты в ходе ее эволюции  
(гипотеза **гомогенной аккреции**)

Планета сразу формируется неоднородной – с металлическим ядром  
(гипотеза **гетерогенной аккреции**)

	Гомогенная аккреция	Гетерогенная аккреция
Процесс, требующий объяснения	Рост очень плотного ядра внутри планеты сопровождается уменьшением потенциальной энергии системы и эквивалентным выделением тепла. Это может привести к расплавлению планеты и ее очень быстрой дифференциации.	Надо объяснить рост существенно неоднородной планеты из протопланетного облака с хаотическим движением фрагментов.
Способы объяснения	Масштабы разогрева определяются темпом роста ядра. Он неизвестен. В рамках существующих моделей получить определенный результат не удастся.	Причина в различии механических и магнитных свойств каменного и железного материала протопланетного облака. Металлические частицы лучше объединяются (слипаются) на ранних стадиях роста планетезималей из протопланетного облака, когда гравитационное притяжение еще неэффективно.





# Энергетика геологических процессов

Геологические процессы питаются за счет взаимных превращений разных форм энергии: механической, тепловой и химической.

При геологических процессах энергия в конечном итоге рассеивается (диссипирует), и для протекания геологических процессов нужно ее пополнение из какого-то источника.

Два типа источников – внешние (по отношению к Земле) и внутренние.

Внешние источники:

- солнечное излучение
- приливное торможение.

Внутренние источники

- остаточное тепло аккреции
- распад радиоактивных изотопов в недрах Земли
- гравитационная энергия плотностной дифференциации вещества Земли.

## **Эндогенные процессы питаются внутренними источниками энергии.**

Вклад **энергии аккреции** убывает со временем, он был важен для ранних эпох развития Земли.

Суммарная оценка **радиогенного тепла** сильно зависит от оценки содержания радиоактивных изотопов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) в ядре и мантии, где их очень мало. В пределах ошибки она перекрывает современный измеренный тепловой поток Земли. Этот источник также слабеет со временем.

**Гравитационная энергия дифференциации мантии** выделяется при переходе вещества (железа) из мантии в ядро и при выплавлении из ультраосновной мантии более легких базальтовых магм, питающих кору Земли.

В сумме эти источники обеспечивают весь наблюдаемый тепловой поток из недр Земли

Из внешних источников для Земли главное значение имеет **солнечное излучение** – на поверхности Земли оно дает в 1000 раз больше энергии, чем тепловой поток из недр. Однако большая часть поступающей энергии переизлучается поверхностью Земли обратно в космос.

В геологических процессах солнечная энергия проявляется в преобразованном виде – через движение вещества в атмосфере и гидросфере, фотосинтез и захоронение органического вещества, образование метастабильных гипергенных минералов и др.

Роль солнечного тепла резко убывает с погружением от поверхности. Годовые колебания температуры прослеживаются на глубину 10-15 м. Даже «вековые» колебания (оледенения) дали мощность многолетней мерзлоты до 1,5 км.

**Энергия приливов** для Земли дает малый вклад. За счет деформации коры она переходит в тепло. [Такой источник, вероятно, важен для процессов в недрах спутников Юпитера – Ио и др.]

Таким образом, **внешний источник доминирует в экзогенных процессах.**