

Тема 5. Химия планетных тел

В составе Солнечной системы выделяются:

1. Солнце

2. Планеты:

- планеты земной группы

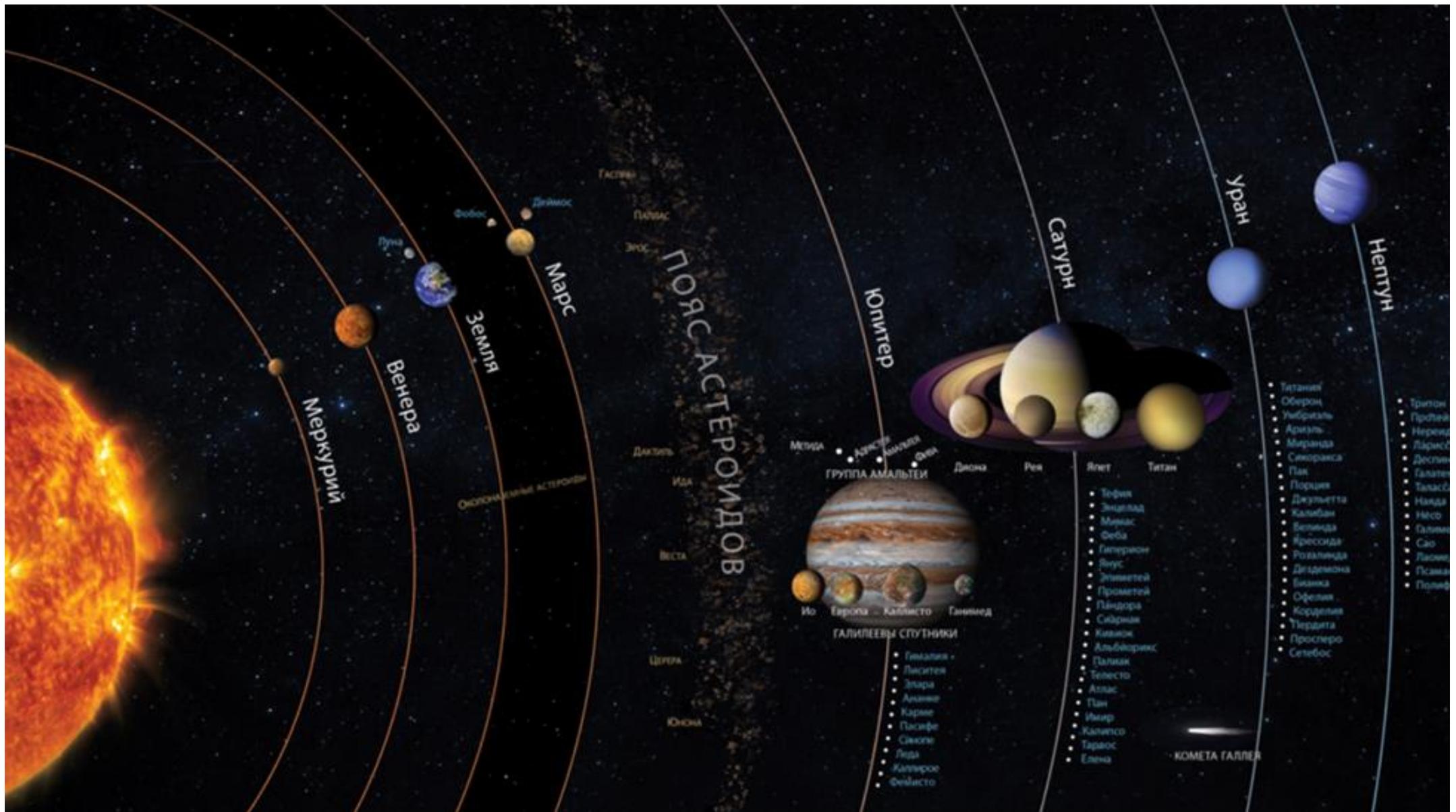
- планеты – гиганты

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

3. Астероиды (пояс астероидов и группы астероидов)

4. Кометы

5. Метеориты

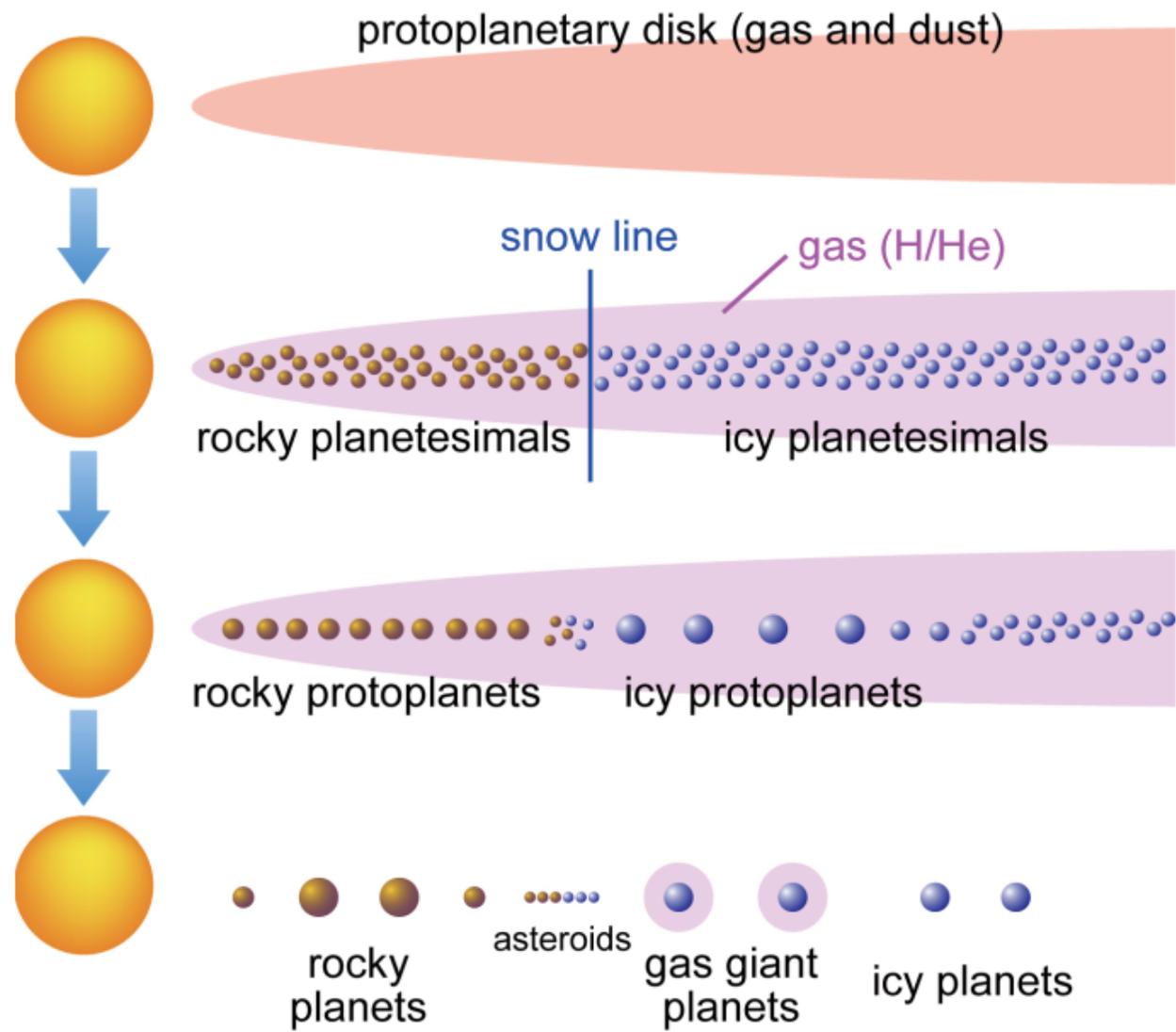


Планеты Солнечной системы

Отличия планет – гигантов от планет земной группы

- большие массы (Юпитер – 318 земных масс)
- мощные атмосферы (состав H_2 -He- CH_4 - NH_3 -...)
- многочисленные спутники и кольца

Вероятная причина отличий – образование из конденсатов внешней части протопланетного облака – более холодной и обогащенной летучими компонентами.



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

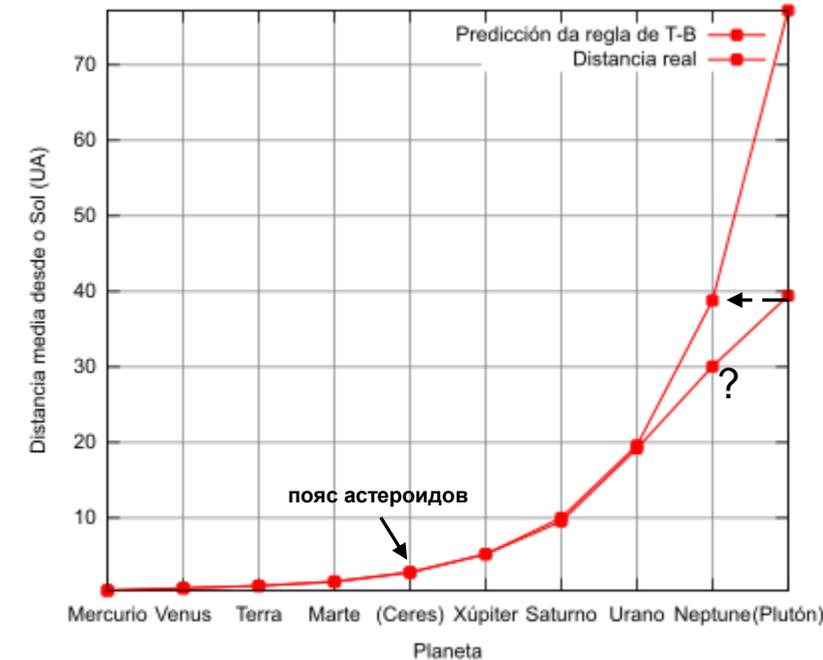
Закономерное расположение планет в Солнечной системе (правило Тициуса – Бодде, 1766)

$$R_i = 0.4 + 0.3 \times 2^i,$$

где R_i – радиус орбиты в астрономических единицах ($\equiv R$ Земли), нумерация по i идет от Венеры ($i=0$, Земля $i=1$ и т.д.; у Меркурия $R=0,4$).

На месте планеты с $i=3$ находится пояс астероидов. Нептун не подчиняется правилу, на его месте ($i=7$) находится Плутон ($i=8$).

Правило Тициуса – Бодде выполняется также для спутников планет-гигантов и даже для экзопланет.



Вероятная причина закономерного расположения планет – возникновение гравитационного орбитального резонанса при их формировании из протопланетного облака.

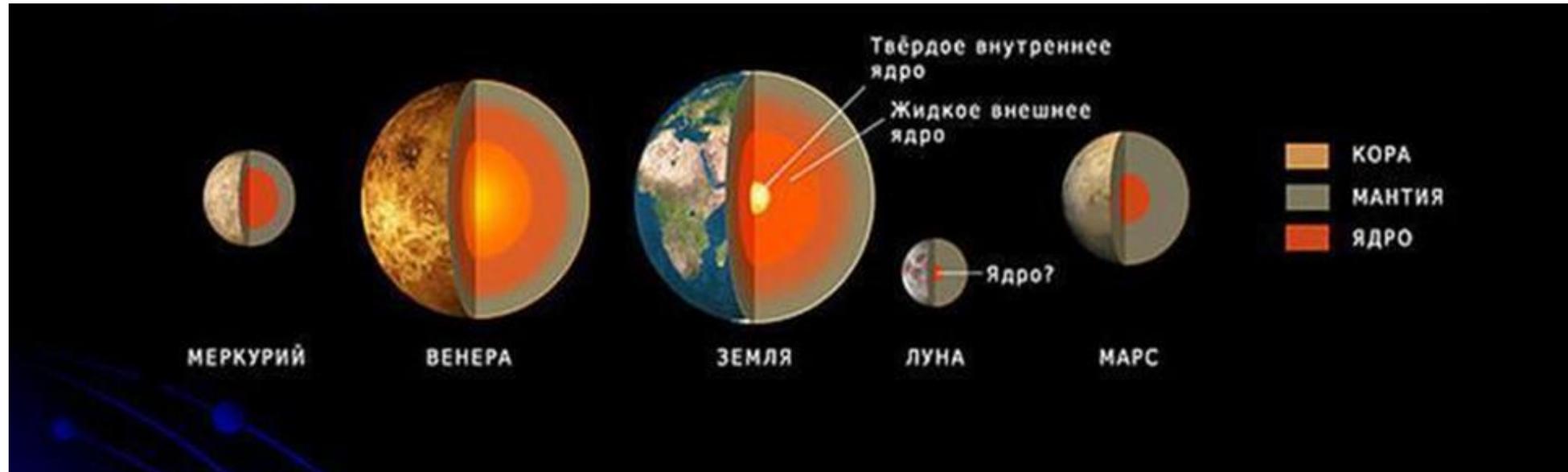
Свойства планет земной группы

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 ³	5,43	5,24	5,52	3,35	3,95
Массовая доля ядра, %	~60	~30	32,3	1	19
Преобладающие породы коры	базальты (?)	базальты (?)	базальты, граниты	анортозиты базальты	основные
Атмосфера	–	96,5% CO ₂ , 3,5% N ₂ , 93 бар	78% N ₂ , 21% O ₂ , 1 бар	–	96% CO ₂ , 1,9% N ₂ , 0,007 бар
Гидросфера	–	–	+	–	? (была)
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 ³	5,43	5,24	5,52	3,35	3,95
Массовая доля ядра, %	~60	~30	32,3	1	19
Преобладающие породы коры	базальты (?)	базальты (?)	базальты, граниты	анортозиты базальты	основные
Атмосфера	–	96,5% CO ₂ , 3,5% N ₂ , 93 бар	78% N ₂ , 21% O ₂ , 1 бар	–	96% CO ₂ , 1,9% N ₂ , 0,007 бар
Гидросфера	–	–	+	–	? (была)
Биосфера	–	–	+	–	?

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



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



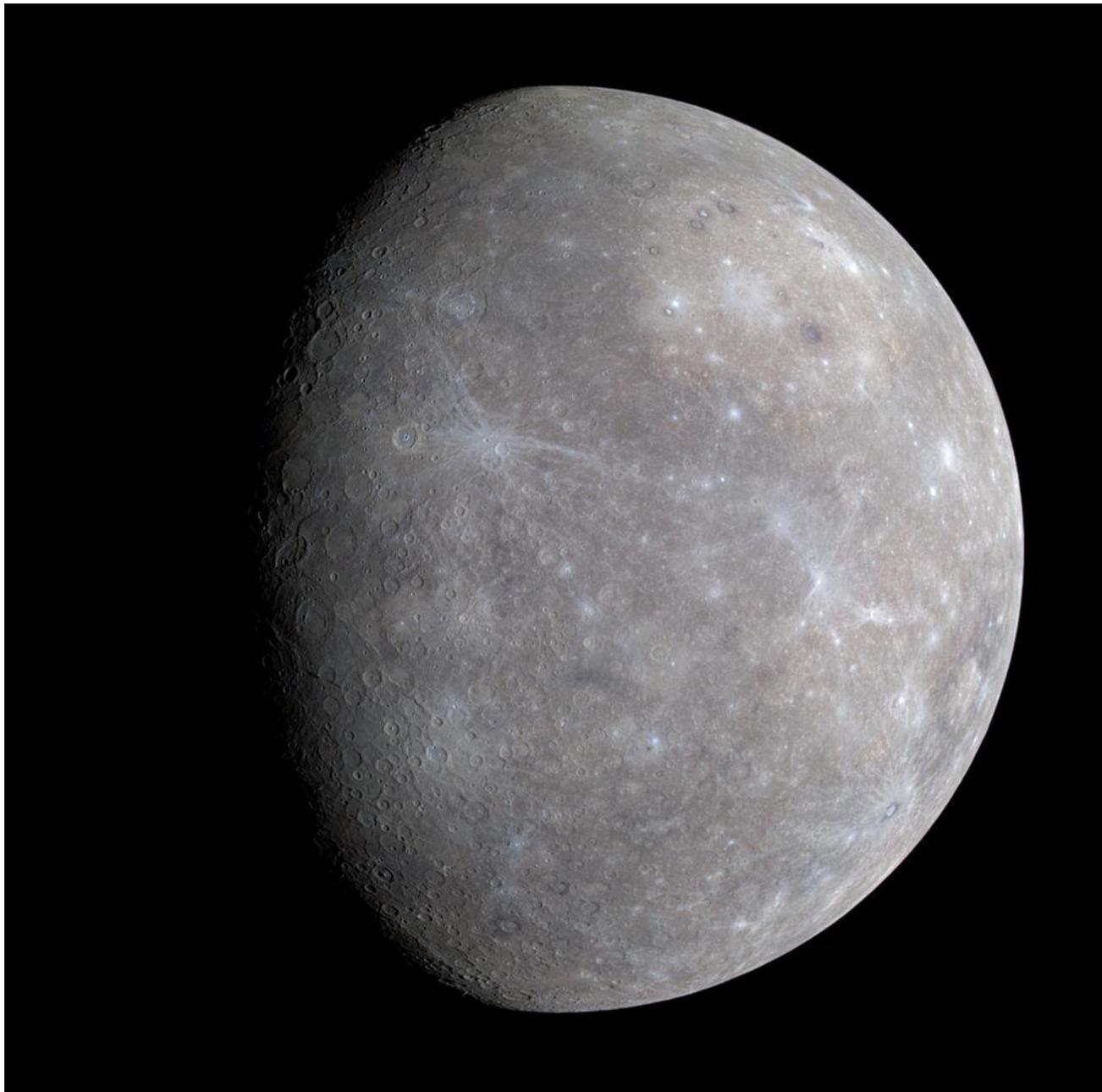
Разделение изначально однородной планеты в ходе ее эволюции (гипотеза гомогенной аккреции)

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, чего не наблюдается.	Надо объяснить рост существенно неоднородной планеты из протопланетного облака с хаотическим движением фрагментов.
Способы объяснения	Масштабы разогрева определяются темпом роста ядра внутри планеты. Он неизвестен. В рамках существующих моделей получить определенный результат не удается.	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.

Свойства планет земной группы

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс
Радиус (3 ≡ 1)	0,382	0,949	≡ 1	0,272	0,532
Объем (3 ≡ 1)	0,06	0,87	≡ 1	0,02	0,15
Масса (3 ≡ 1)	0,055	0,816	≡ 1	0,012	0,107
Ср. плотность, г/см ³	5,43	5,24	5,52	3,35	3,95
Массовая доля ядра, %	~60	~30	32,3	1	19
Преобладающие породы коры	базальты (?)	базальты (?)	базальты, граниты	анортозиты базальты	основные
Атмосфера	–	462°C 70 бар 96.5% CO ₂ , 3,5% N ₂	15°C 1 бар 78% N ₂ , 21% O ₂ , 0,04% CO ₂	–	–63°C, 0,007 бар 96% CO ₂ , 1,9% N ₂
Гидросфера	–	–	+	–	? (была)
Биосфера	–	–	+	–	?



Меркурий.

Фото с космического зонда
MESSENGER.

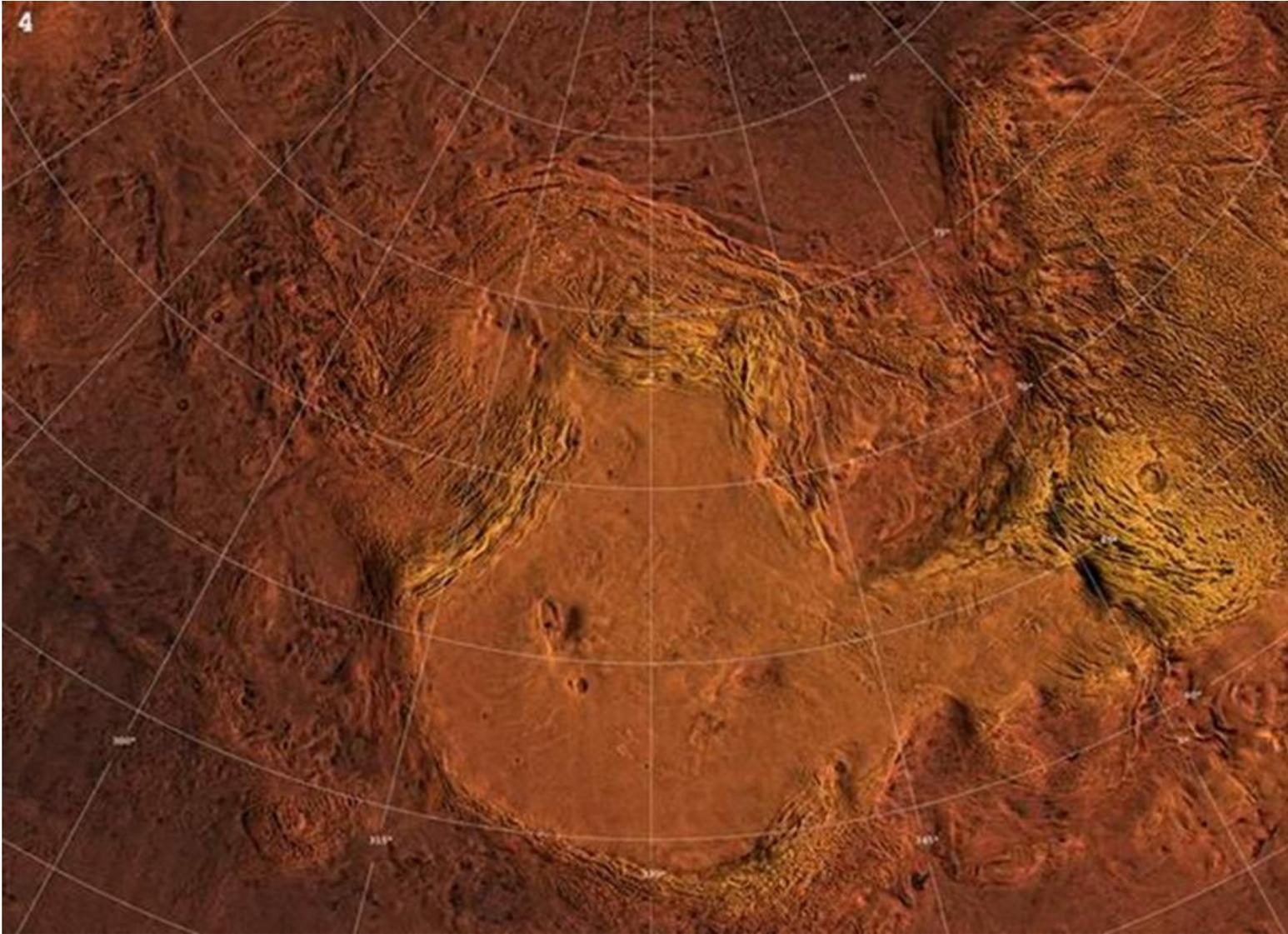
.



Поверхность Венеры

Фото межпланетной
станции «Венера-13».

.



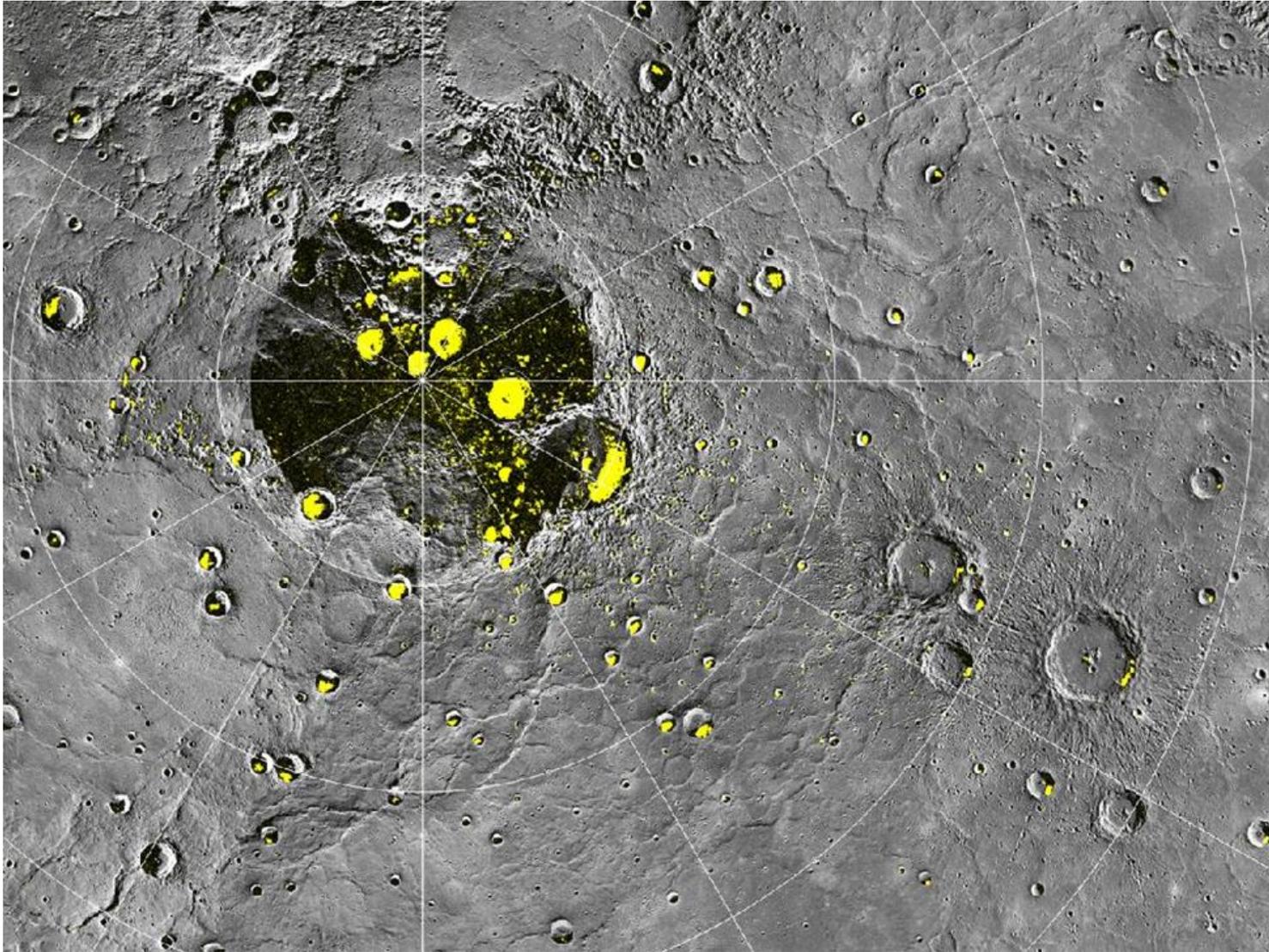
Рельеф поверхности Венеры

Реконструкция по данным
радарного картирования.



Фотографии
поверхности
Марса





Радиолокационное
изображение льда
в кратерах
приполярной
области Меркурия.

Данные космического
зонда MESSENGER.



«Каналы» на
поверхности
Марса.

Венера – Земля – Марс: взаимоотношения между атмосферой, гидросферой и биосферой [по Marty, 2020]

P_{atm} 93 bar	P_{atm} : 1 bar	P_{atm} : 0.007 bar
Temp.: 462 °C	Temp.: 15 °C	Temp.: -63 °C
N ₂ : 3.5 %	N ₂ : 78 %	N ₂ : 1.89 %
O ₂ : 0 %	O ₂ : 21 %	O ₂ : 0 %
Ar: 0.00007 %	Ar: 0.93 %	Ar: 1.93 %
CO ₂ : 96.5 %	CO ₂ : 0.04 %	CO ₂ : 96 %



Атмосфера Земли содержит свободный кислород в результате биологической активности, а большая часть углерода связана в осадочной оболочке. Если бы этот углерод был преобразован в CO₂, в земной атмосфере соотношение CO₂/N₂ было бы аналогично Венере и Марсу, а атмосферное давление сравнимо с величиной для Венеры.

Венера не имеет океанов, поскольку вода диссипировала в космос в начале ее геологической истории. Развитие жизни на Венере, по-видимому, невозможно из-за ее экстремальных T-P-условий.

Биосфера на поверхности Марса могла существовать ранее, когда на ней была гидросфера, а атмосфера была более плотной, чем сегодня.

