




ОБЩАЯ ГЕОФИЗИКА

Носов Михаил Александрович

ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОФИЗИКИ

кафедра физики моря и вод суши

Ц-47

A satellite view of Earth showing the Americas and surrounding oceans with a text overlay. The text is in Russian and defines geophysics as a complex of sciences about Earth and its physical processes in the lithosphere, hydrosphere, atmosphere, and magnetosphere.

ГЕОФИЗИКА (от гр. ge Земля) — комплекс наук о Земле в целом и физических процессах, происходящих в литосфере, гидросфере, атмосфере и магнитосфере

Разделы курса:

- *Физика атмосферы*
- *Физика гидросферы*
- *Физика твердой
Земли*

Фундаментальные проблемы геофизики:

- Образование системы Земля-Луна**
- Происхождение ядра, мантии и коры**
- Формирование атмосферы и гидросферы и происхождение жизни на Земле**
- Взаимодействие геосфер**
- Влияние космоса на геосферы**
- Эволюция климата и его устойчивость**
- Магнитное поле Земли**
- Природные катастрофы**

Математические проблемы, имеющие прямое отношение к геофизике:

- ❑ **Построение математических моделей сплошных сред с фазовыми переходами, сложной реологией, неизвестными (или эмпирическими) уравнениями состояния и т.д.**
- ❑ **Глобальная разрешимость трехмерных уравнений гидродинамики**
- ❑ **Устойчивость решений**
- ❑ **Хаотические режимы, странные аттракторы, турбулентность**
- ❑ **Фрактальная геометрия изучаемых объектов**

Образование Солнечной системы и Земли

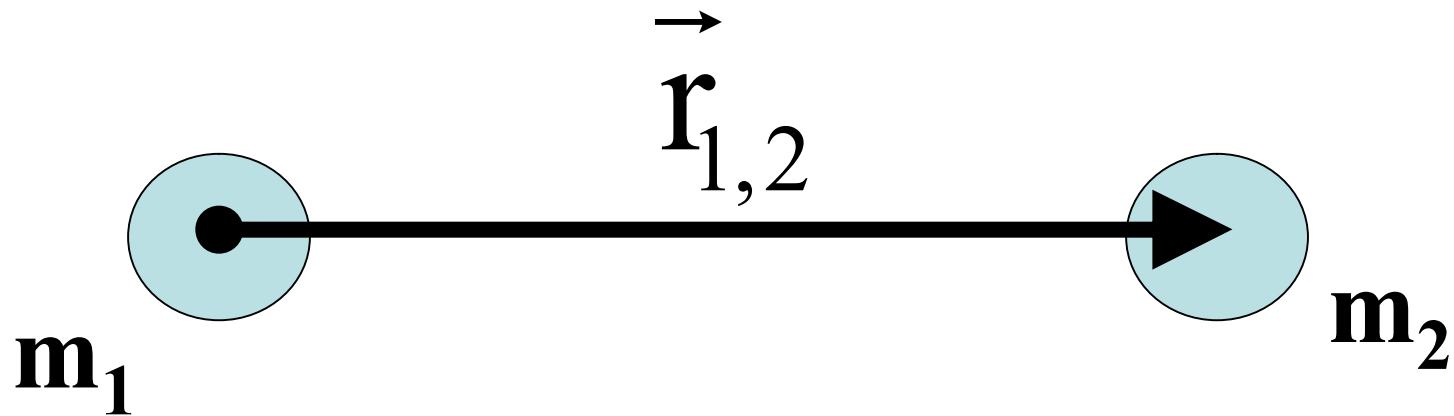
**Образование Вселенной ~14 млрд. лет
назад в результате «Большого взрыва»**

Вселенная была заполнена:

**Излучением и «легкими» частицами
(протоны, электроны, ядра гелия,
нейтрино и др.)**

*****Тяжелых элементов не существовало**

Закон всемирного тяготения



$$\vec{F}_{1,2} = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}_{1,2}|^3} \vec{r}_{1,2}$$

красные карлики,
нейтронные звезды и черные
дыры

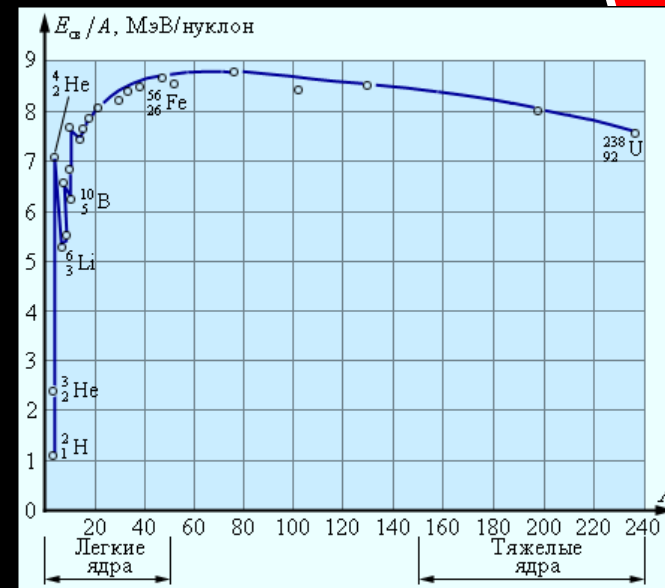
???

Гравитационный коллапс,
взрыв сверхновой

«Выгорание»
от H до Fe ,
 Ni

Водородно-гелиевые
протозвезды

Гравитационная
неустойчивость



«Строительный
материал» для звезд
следующего поколения,
в т.ч. тяжелые элементы

Меркурий

Земля

Венера

Марс

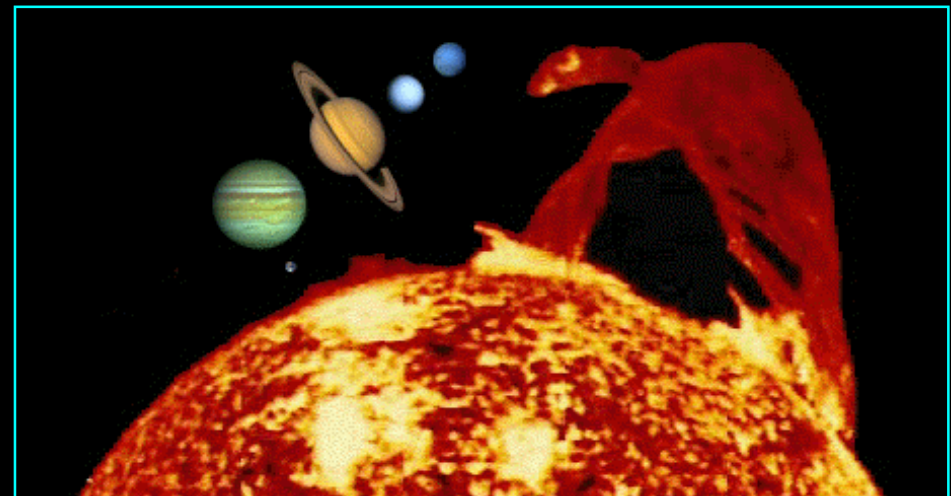
Юпитер

Сатурн

~~**Плутон**~~

Уран

Нептун



Ранние гипотезы происхождения Земли

- ❑ **конец 18 века.** Гипотеза Канта-Лапласа о происхождении Земли из сжимающегося сгустка разогретой газообразной материи
- ❑ **конец 19 века.** Гипотеза Мультона-Чемберлена об образовании планет путем застывания вещества, выброшенного Солнцем в виде огромных протуберанцев;
- ❑ **20-30 годы 20 века.** Гипотеза Джинса об образовании планет из вещества, вырванного из Солнца притяжением пролетевшей поблизости звезды;
- ❑ **1943 г.** Гипотеза О.Ю.Шмидта об аккумуляции планет из роя холодных тел и частиц, захваченного Солнцем.

Земля образовалась из **ХОЛОДНЫХ** тел, а не из сгустков раскаленной материи

Современная концепция образования Солнечной системы и Земли

- ❑ Солнечная система возникла ~ 4.7 млрд. лет назад как результат **аккреции** твердых частиц холодного газопылевого протопланетного облака;
- ❑ Планеты и Солнце сформировались в едином процессе;
- ❑ «Строительный материал» образовался в результате взрыва двух сверхновых звезд.

**** в метеоритах встречаются следы
короткоживущих изотопов*

Аккреция (accretion, прирост, срастание) – падение вещества на космическое тело из окружающего пространства

Аккреционный диск

- ❑ Гравитационное сжатие
- ❑ Сохранение углового момента
- ❑ Излучение и солнечный ветер

Аккреционный диск

В настоящее время известно:

☐ 3000 дисков около молодых звезд

☐ 300 сформировавшихся планетных систем

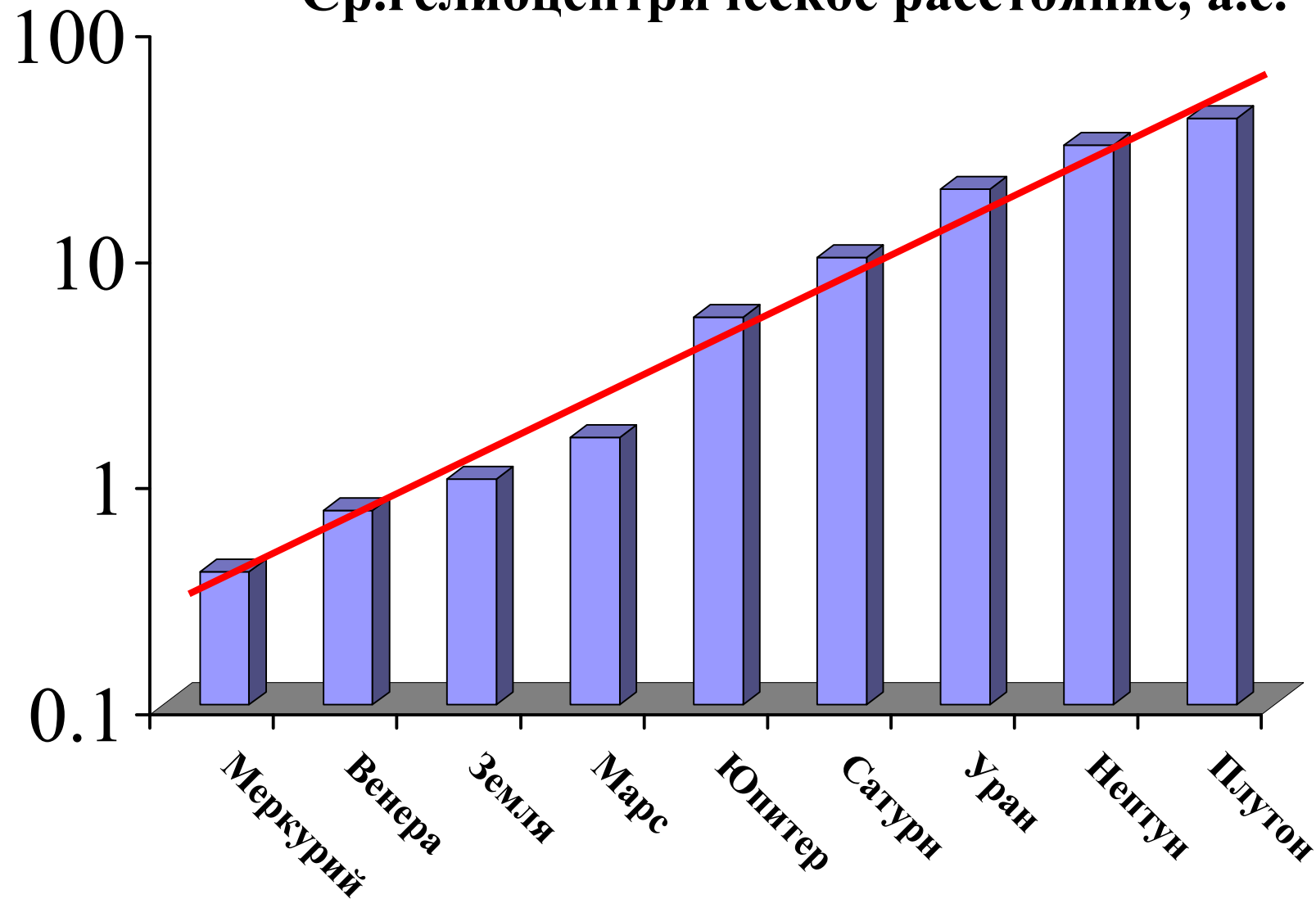
☐ 350 экзопланет

Модель образования Солнечной системы должна объяснить следующий набор наблюдаемых фактов:

- 1. Все планеты движутся по эллиптическим орбитам в одном направлении**
- 2. Орбиты всех планет (кроме Плутона) лежат в единой плоскости (различие не превышает 6°)**
- 3. Солнце вращается в направлении движения планет по орбитам, а ось его вращения перпендикулярна плоскости орбит**

4. Закономерное изменение среднего гелиоцентрического расстояния

Ср.гелиоцентрическое расстояние, а.е.



Ингредиенты Солнечной системы

<i>Металлы</i>	<i>T конденсации</i>	
Fe, Ni, Al	1600 K	0.2%
<i>минералы на основе кремния</i>		
силикаты	500-1300 K	0.4%
<i>льды: метан, аммоний, вода</i>		
CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	~150 K	1.4%
<i>легкие газы</i>		
H, He	-	98%

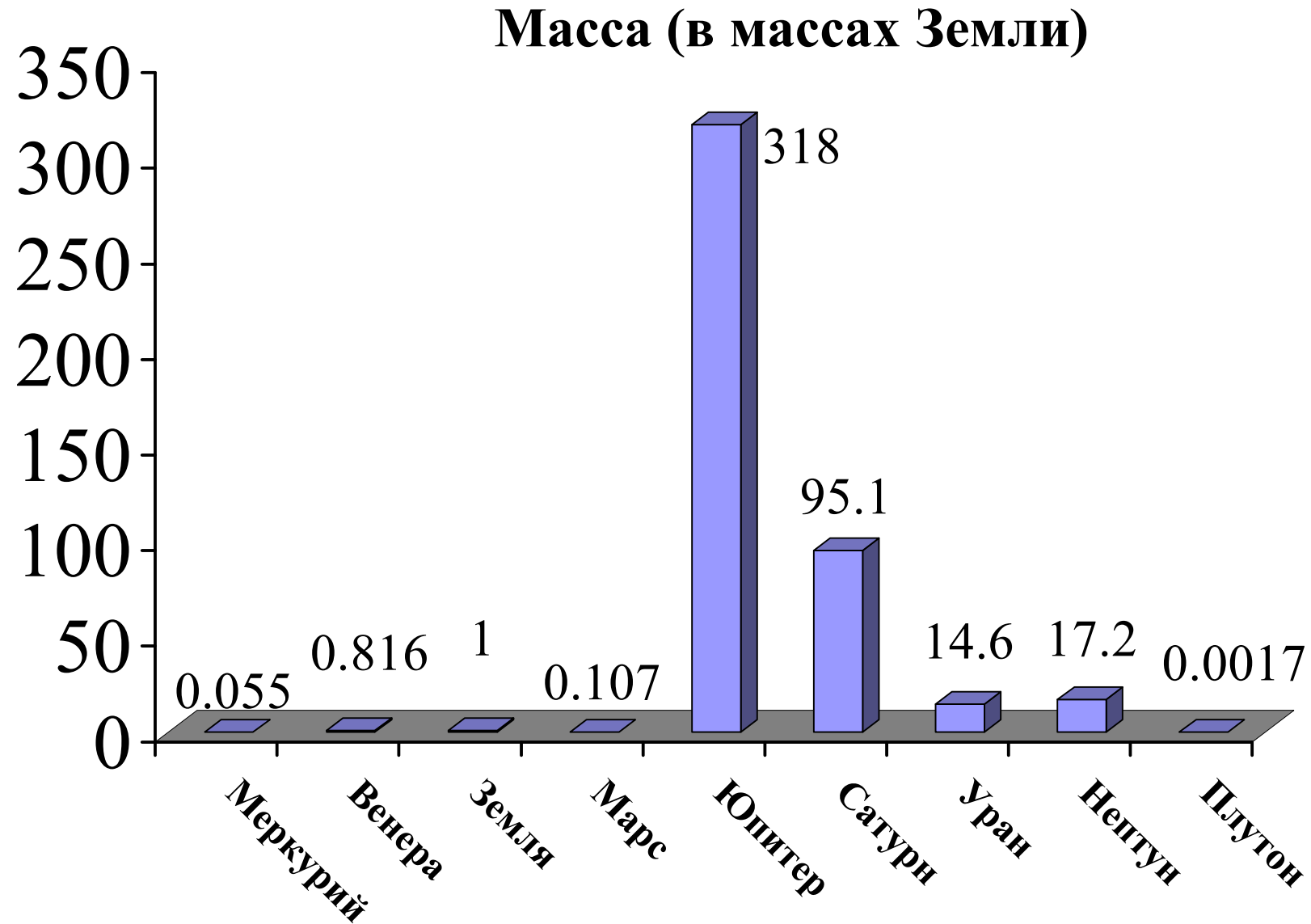
5. Закономерное изменение средней плотности



6. Закономерное изменение радиуса



7. Закономерное изменение массы



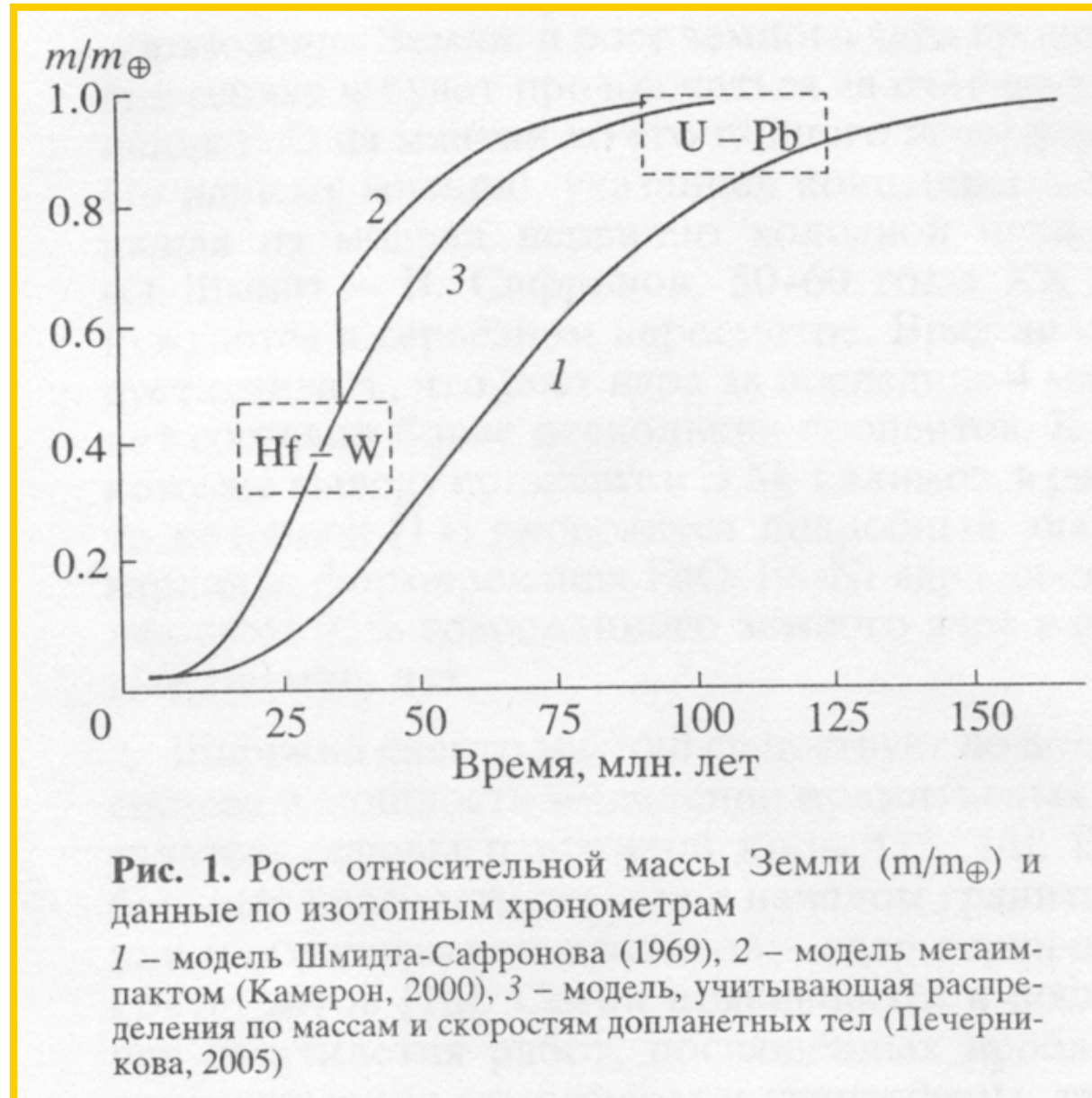
Аккреционный диск

Данные наблюдений

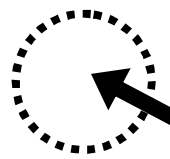
подтверждают:

- правдоподобность «стандартного сценария» формирования планетных систем
- оценку времени формирования (десятки млн. лет)

Рост массы Земли



dM



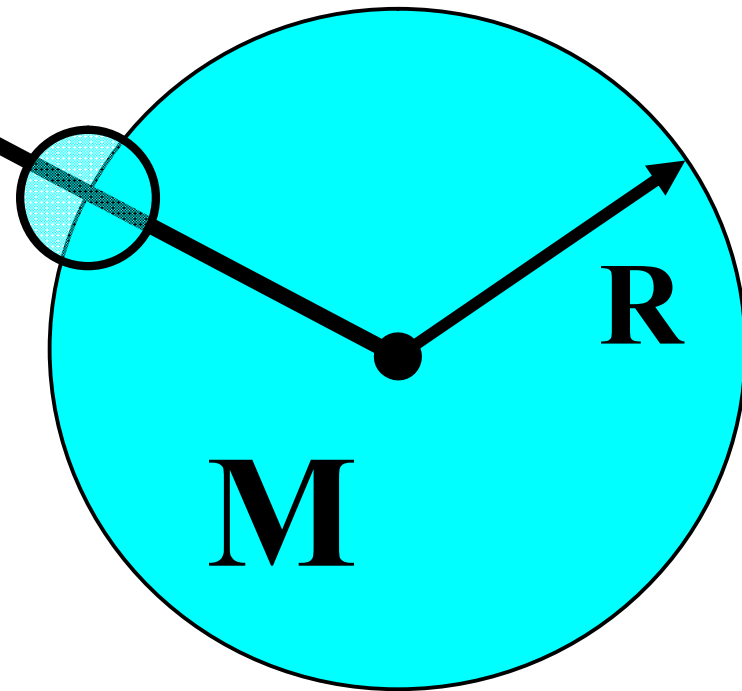
r

$$F = -G \frac{M dM}{r^2}$$

$$dA = \int_R^\infty F dr =$$

$$= G \frac{M dM}{R(M)}$$

$R(M)$



$$M = \frac{4\pi}{3} R^3 \rho \quad \Rightarrow \quad R = \left(\frac{M}{\rho} \frac{3}{4\pi} \right)^{1/3}$$

$$A = G\rho^{1/3} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} \int_0^{M_3} M^{2/3} dM$$

$$A = G\rho^{1/3} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} \frac{3}{5} M_3^{5/3}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ М}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$$

$$\rho = 5518 \text{ кг} / \text{М}^3$$

$$M_3 = 5.978 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$$A = G\rho^{1/3} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} \frac{3}{5} M_3^{5/3}$$

$$A \approx 2.24 \cdot 10^{32} \text{ Дж}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$$

$$\rho = 5518 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$M_3 = 5.978 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

**Удельная
теплота
парообразования
железа:
 $6.12 \cdot 10^6$ Дж/кг**

$$A = G\rho^{1/3} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} \frac{3}{5} M_3^{5/3}$$

$$A / M_3 \approx 3.9 \cdot 10^7 \text{ Дж} / \text{кг}$$

При аккреции Земли выделилось
 $\sim 2.24 \cdot 10^{32}$ Дж

Этой энергии достаточно для испарения
вещества Земли при 30000 °C

Рост Земли 100 млн. лет

Солнце \rightarrow Земля

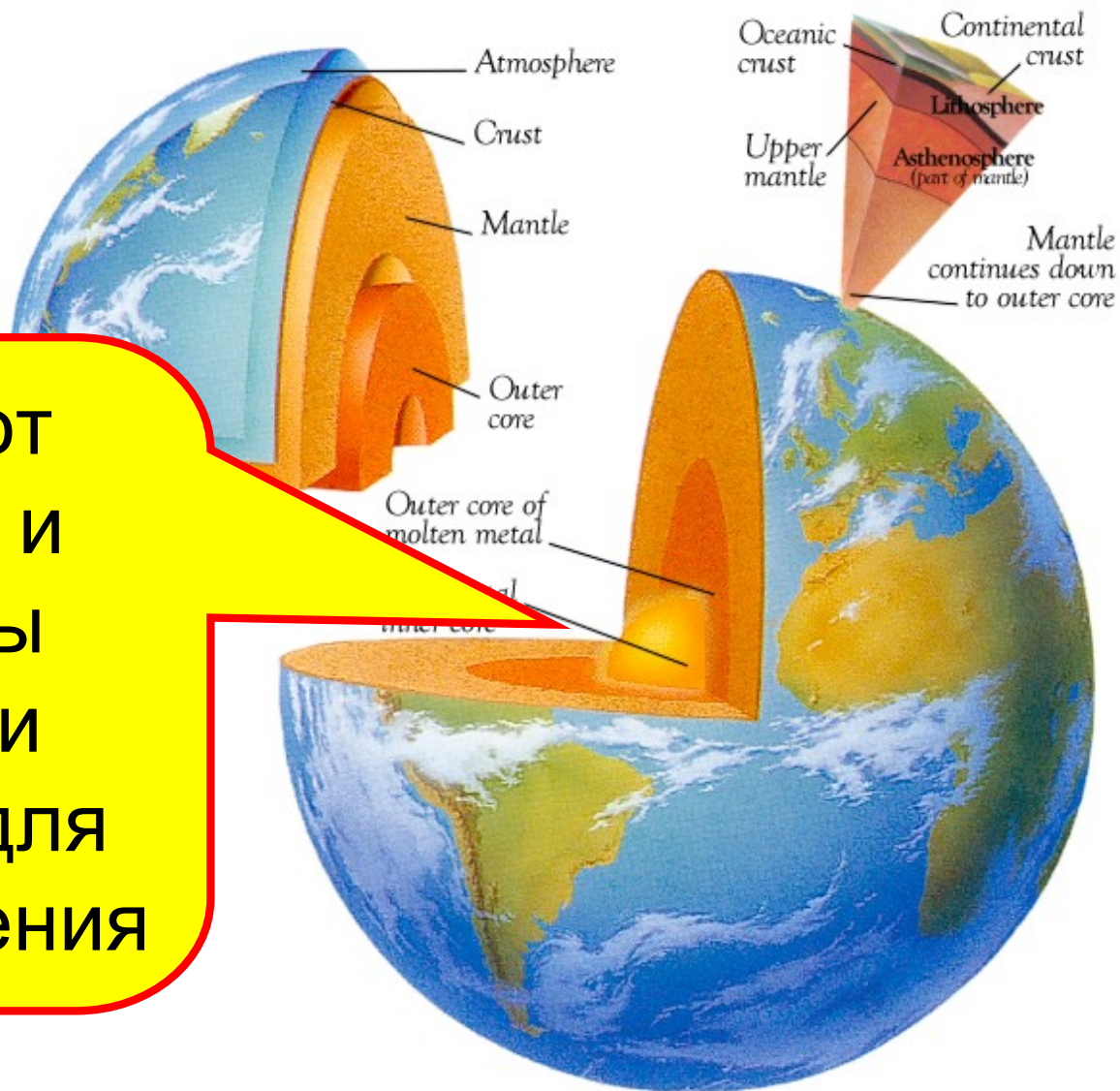
$$L_{\oplus} = S_0 \pi R_{\oplus}^2 \approx 1.75 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$$

$$T = A / L_{\oplus} \approx 1.3 \cdot 10^{15} \text{ с} \approx 40 \text{ млн. лет}$$

Общие сведения о планете Земля

Расстояние до Солнца	149.6 млн. км
Масса	$5.978 \cdot 10^{24}$ кг
Период вращения вокруг оси	23ч. 56мин. 04с.
Средний радиус	6371 км
Средняя плотность	5518 кг/м ³
Наклон экватора к орбите	23°27'

Внутреннее строение Земли



В отличие от атмосферы и гидросферы практически недоступно для прямого изучения

Источники информации о внутреннем строении Земли:

- ❑ Сверхглубокое бурение (12 262 м);
- ❑ Материал, извергнутый вулканами;
- ❑ Сейсмические данные;
- ❑ Тепловой поток;
- ❑ Магнитное поле;
- ❑ Гравитационное поле;
- ❑ Интегральные характеристики (масса, момент инерции).