

Астрономия

Планеты Солнечной системы (обзорная лекция)

Леготин Сергей Дмитриевич

К.Т.Н., доцент



Мироздание с его неизмеримым величием, с его сияющим отовсюду бесконечным разнообразием и красотой приводит нас в безмолвное изумление.

Иммануил Кант



...есть надежда, что Вселенная подчиняется какому-то порядку, который мы можем отчасти постигнуть. Возможно, эта надежда – всего лишь мираж.... Но, несомненно, лучше стремиться к полному пониманию, чем отчаяться в человеческом разуме.

Стивен Хокинг

Астрономия

Астрономия – (греч.) *αστρονομος*:

- *αστρον* (астрон) – звезда, светило
- *νομος* (номос) – закон, слово

Объекты изучения:

1. Небесные тела:

- звезды
- планеты
- метеориты
-

2. Системы небесных тел:

- звездные скопления
- галактики
-

3. Вселенная в целом

Исследуемые свойства объектов:

расположение

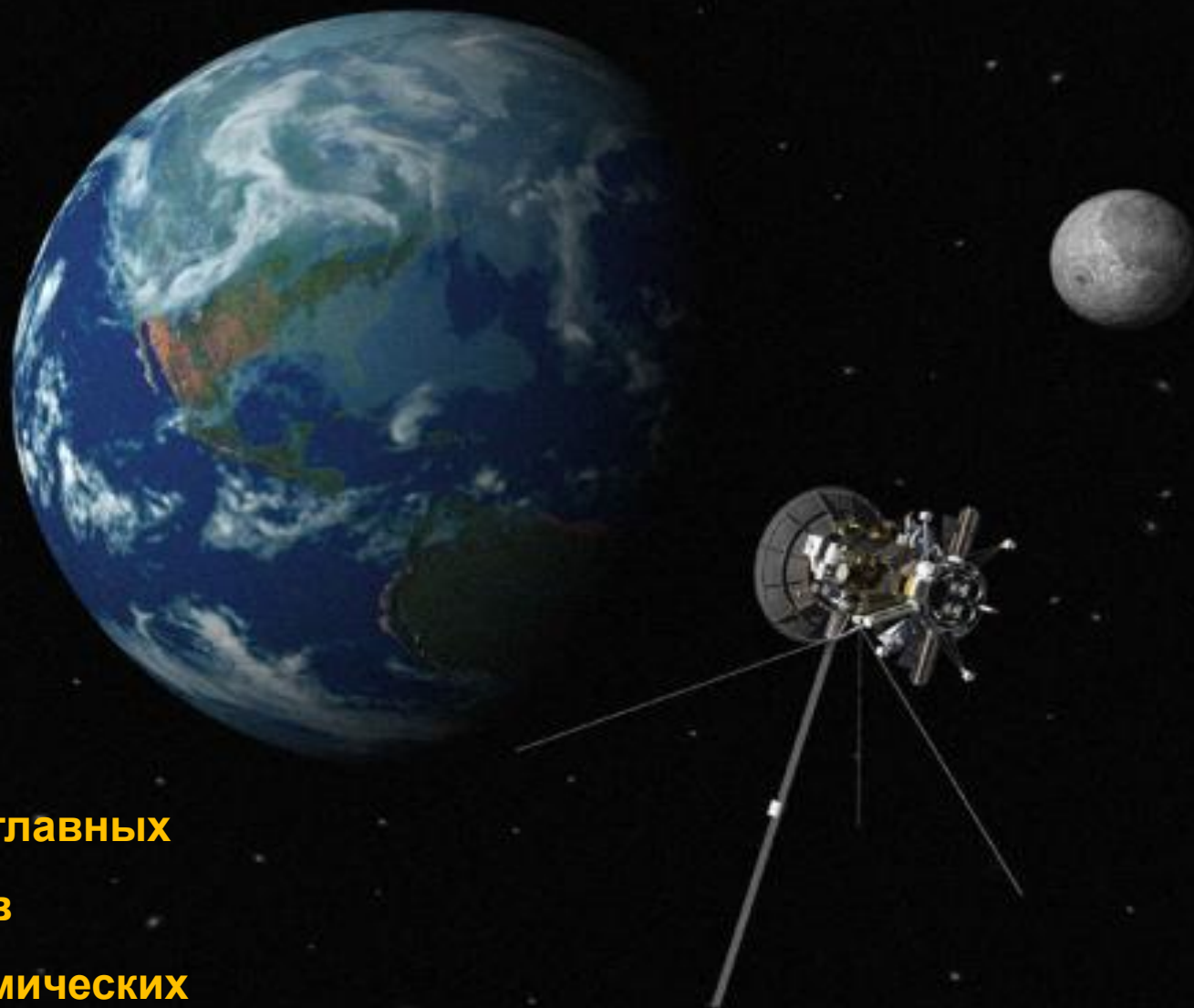
строение

происхождение

движение

развитие

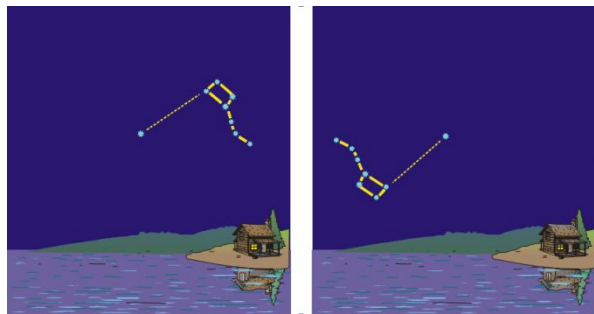
**Земля –
один из главных
объектов
астрономических
наблюдений**



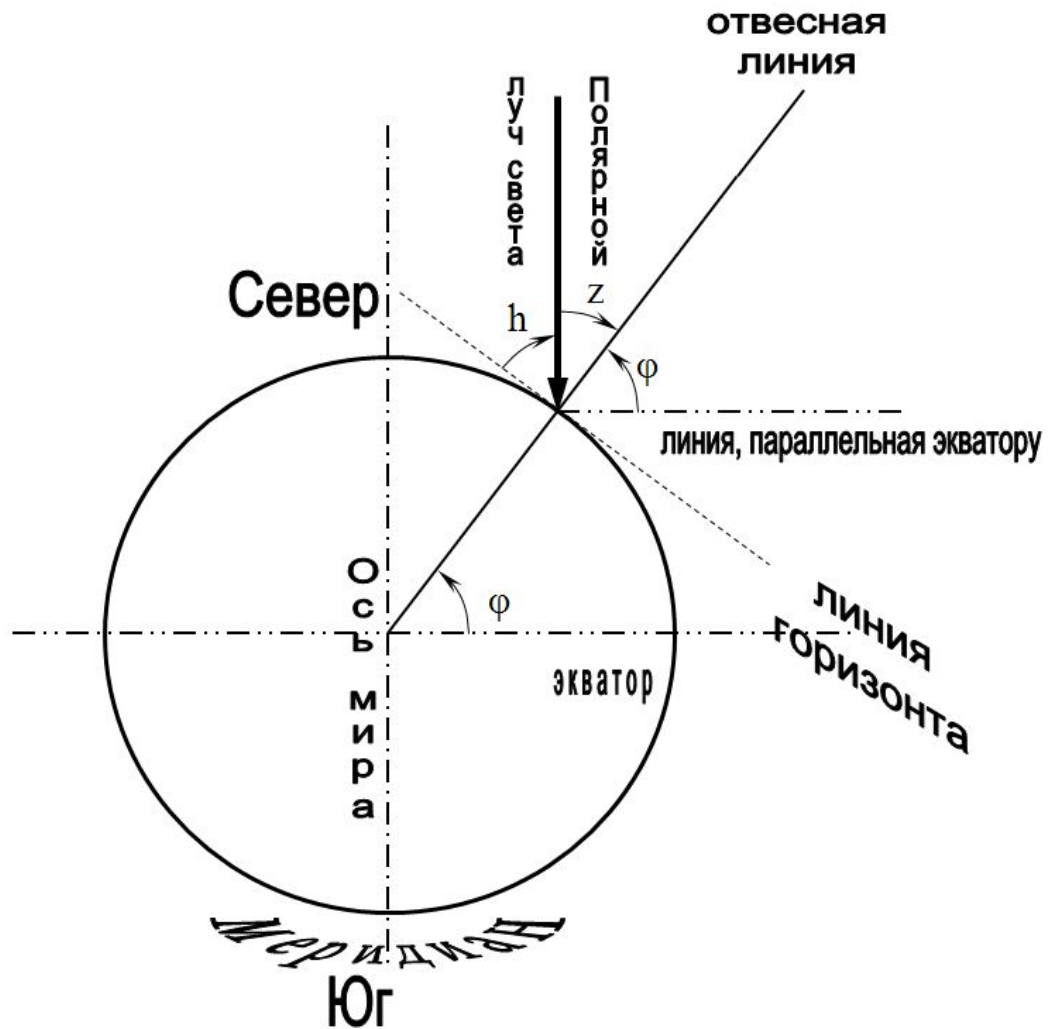
Размеры и форма Земли



Движение звезд вблизи северного участка неба

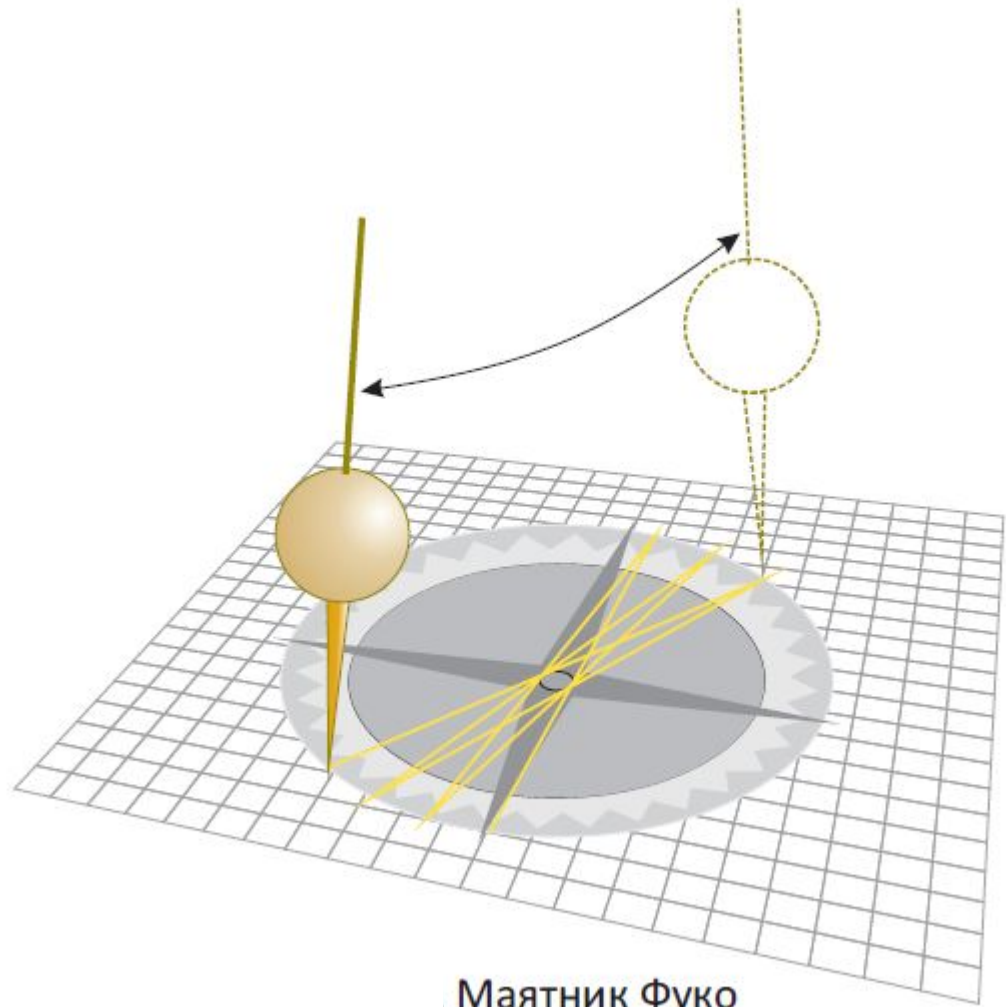
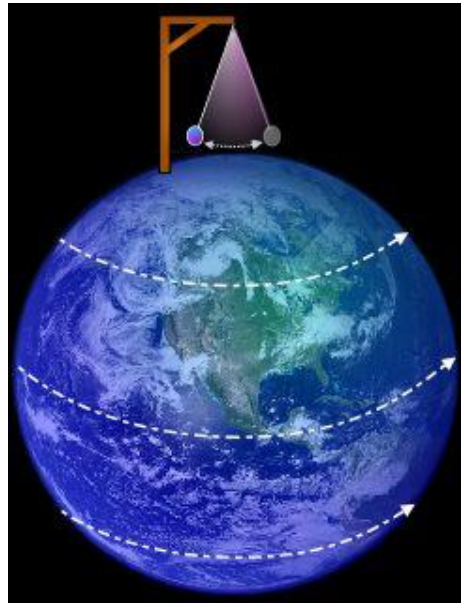
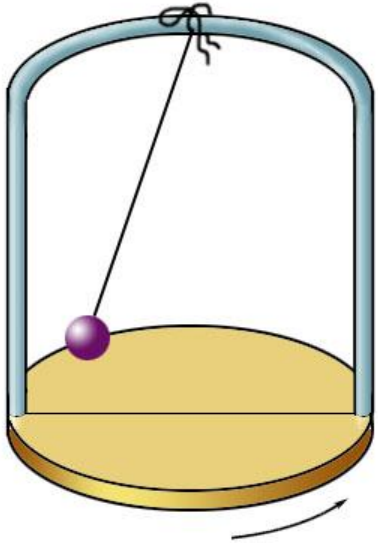


Полярная звезда – полюс мира



Высота Полярной звезды h равна широте местности: $h = \varphi$

Вращение Земли

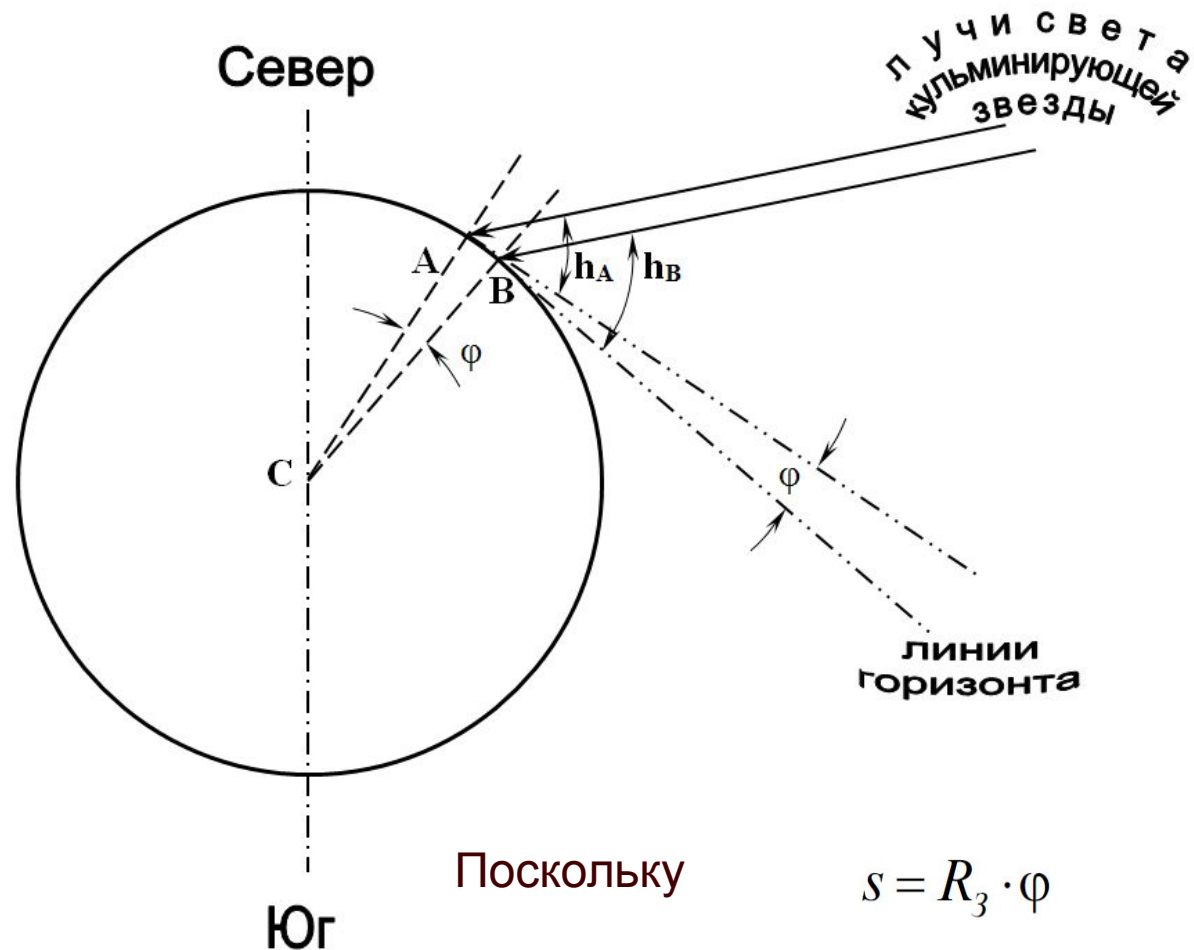


Маятник Фуко

Размеры и форма Земли

Кульминация – момент прохождения звезды через **меридиональную плоскость**, включающую отвесную линию и ось Земли.

A, B – наблюдатели, находящиеся на одном и том же меридиане,
 h – высота звезды.



$$R_3 = \begin{array}{l} 6356,9 \text{ км (полярный);} \\ 6378,2 \text{ км (экваториальный)} \end{array}$$

Поскольку

$$s = R_3 \cdot \varphi$$

Отсюда:

$$R_3 = \frac{s}{h_B - h_A}$$

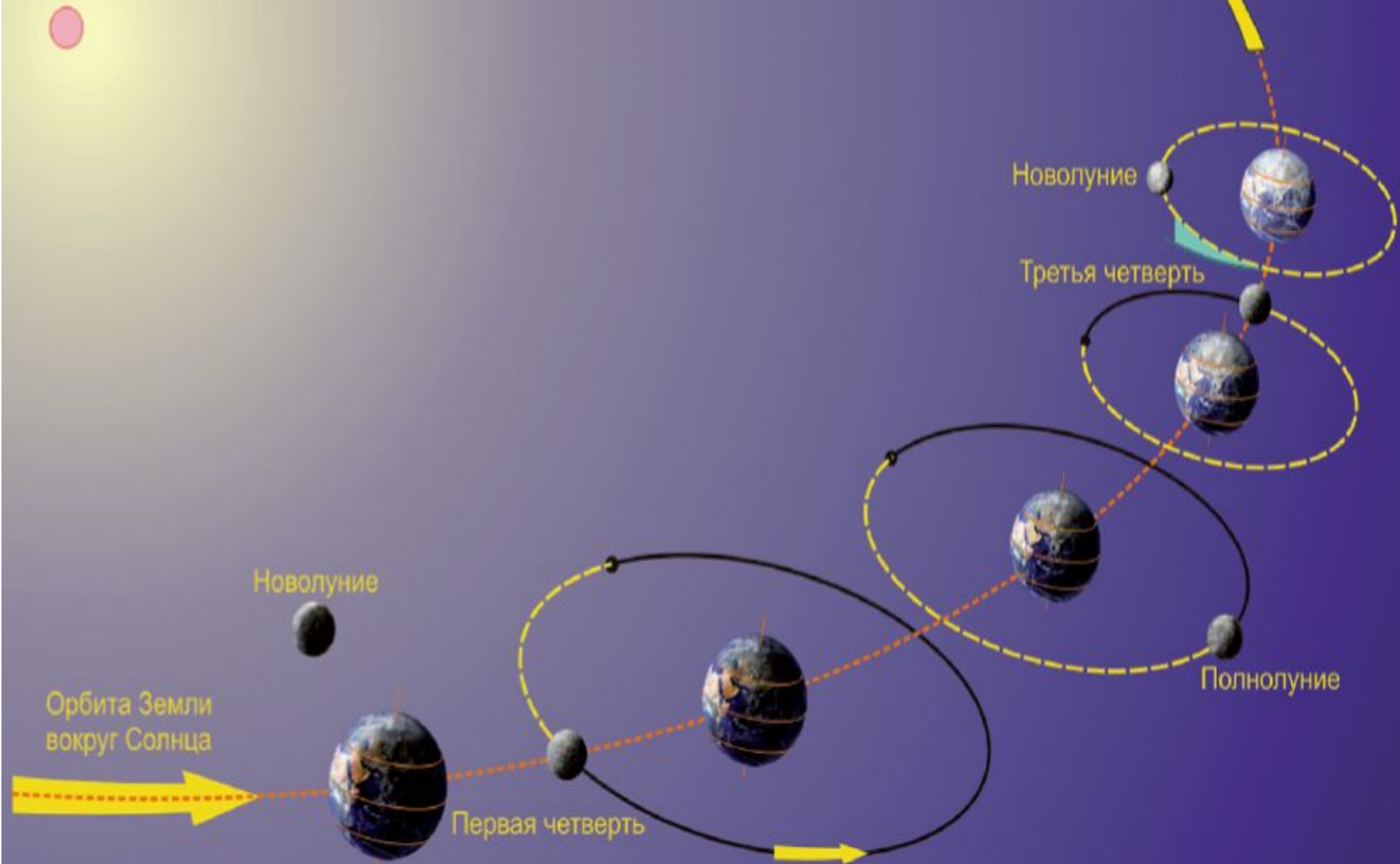
Луна – спутник Земли



- 1 – Море Дождей,
- 2 – Море Ясности
- 3 – Море Гумбольдта
- 4 – Море Кризисов
- 5 – Море Паров
- 6 – Океан Бурь
- 7 – Море Изобилия
- 8 – Море Спокойствия
- 9 – Море Нектара
- 10 – Море Облаков
- 11 – Море Познанное
- 12 – Море Влажности
- 13 – кратер Платон
- 14 – кратер Аристарх
- 15 – кратер Геродот
- 16 – кратер Коперник
- 17 – кратер Альфонс
- 18 – кратер Кеплер
- 19 – кратер Тихо

Солнце

Луна – спутник Земли



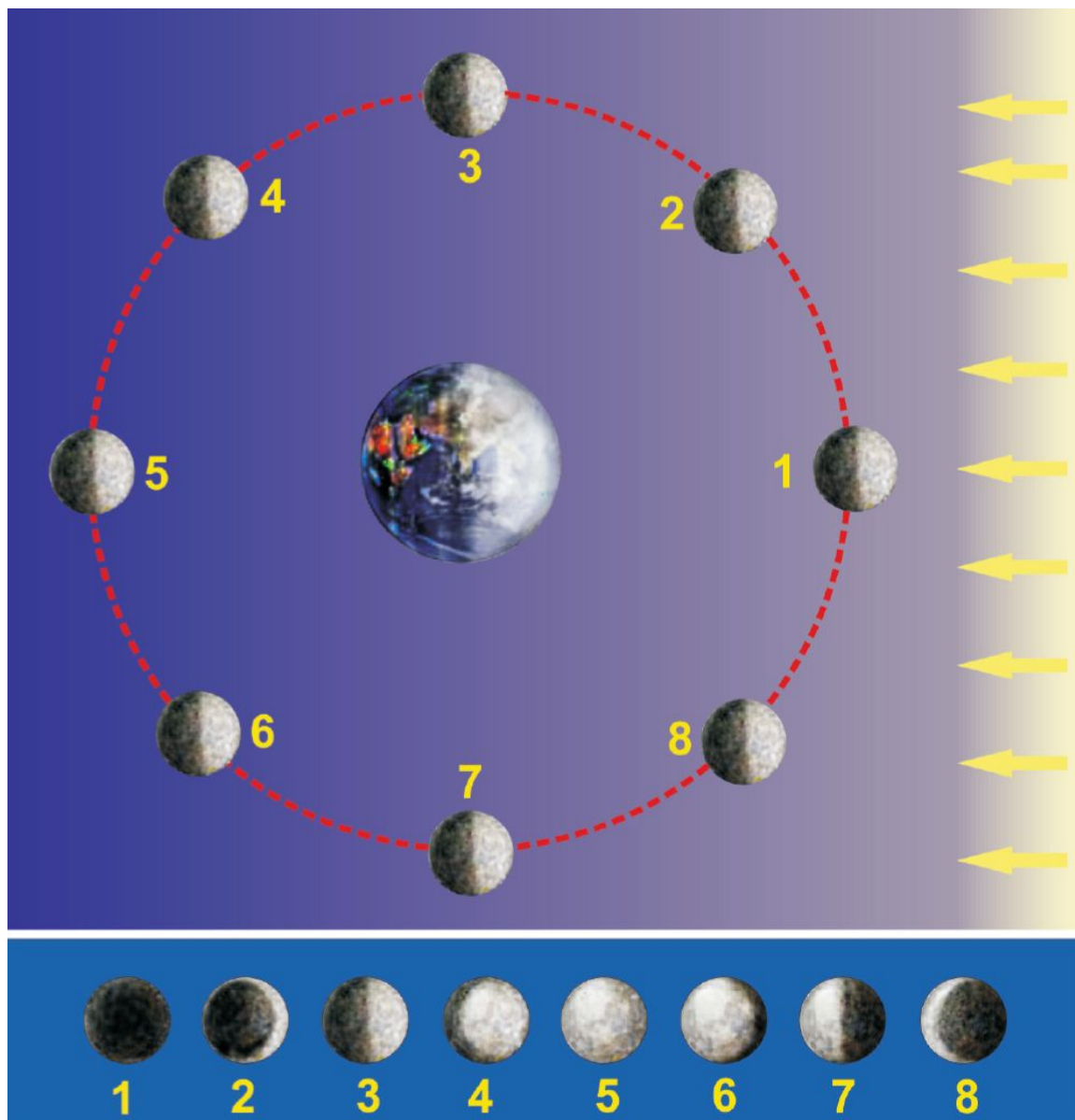
Фазы Луны

1 - **новолуние** — (видимая сторона Луны находится почти целиком в собственной тени)

3 - **первая четверть** — освещена половина Луны

5 - **полнолуние** — Луна освещена вся целиком

7 - **последняя четверть** — снова освещена половина Луны



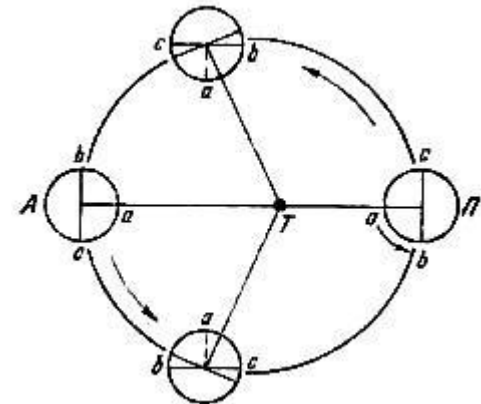
Либрация Луны. Эллиптичность орбиты



Сравнение максимальных и минимальных видимых размеров Луны (изменения ~ 10%)

Причины либрации:

- эллиптичность орбиты Луны;
- наклон плоскости собственного вращения Луны к плоскости ее орбиты вокруг Земли;
- вращение Земли, при этом наблюдатель как бы заглядывает то справа, то слева за обращенную к Земле поверхность Луны



А НЕ ПОСЧИТАТЬ ЛИ НАМ? И ТО – ДЕЛО!



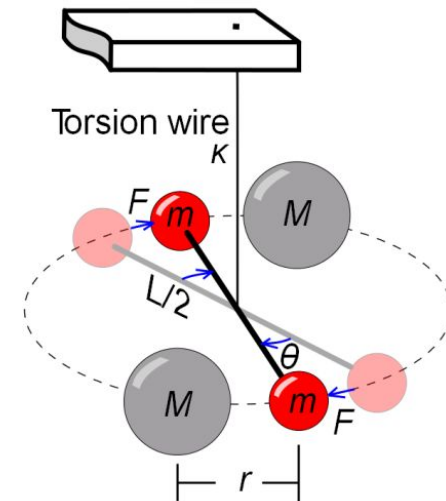
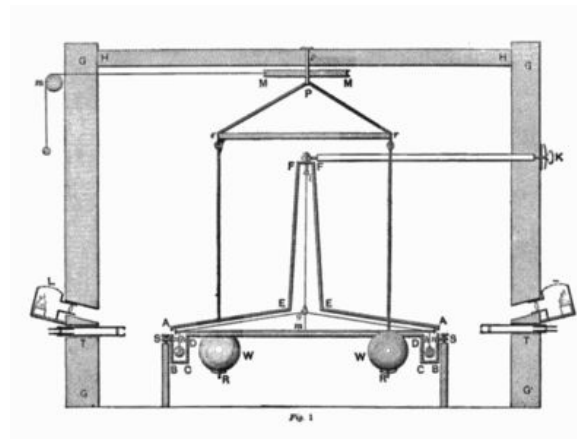
Закон гравитационного притяжения **Ньютона**:

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Сила притяжения на поверхности Земли:

$$F = m \cdot g$$

Опыт Кавендиша

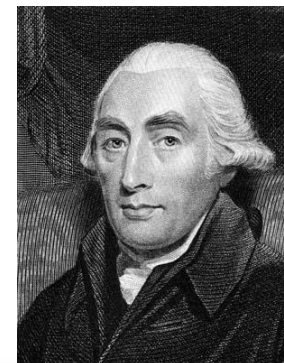


Гравитационная постоянная:

$$G = 6,71 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$$

Ускорение свободного падения:

$$g = 9,81 \cdot \text{м} / \text{с}^2$$



Масса и плотность Земли

После приравнивания и сокращения:

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

Откуда масса Земли:

$$M_3 = \frac{gR_3^2}{G} = \frac{9,81 \cdot (6,4 \cdot 10^6)^2}{6,71 \cdot 10^{-11}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

Разделив на объем Земного шара ($\frac{4}{3}\pi R_3^3$), оценим плотность Земли:

$$\rho = 5500 \text{ кг} / \text{м}^3$$

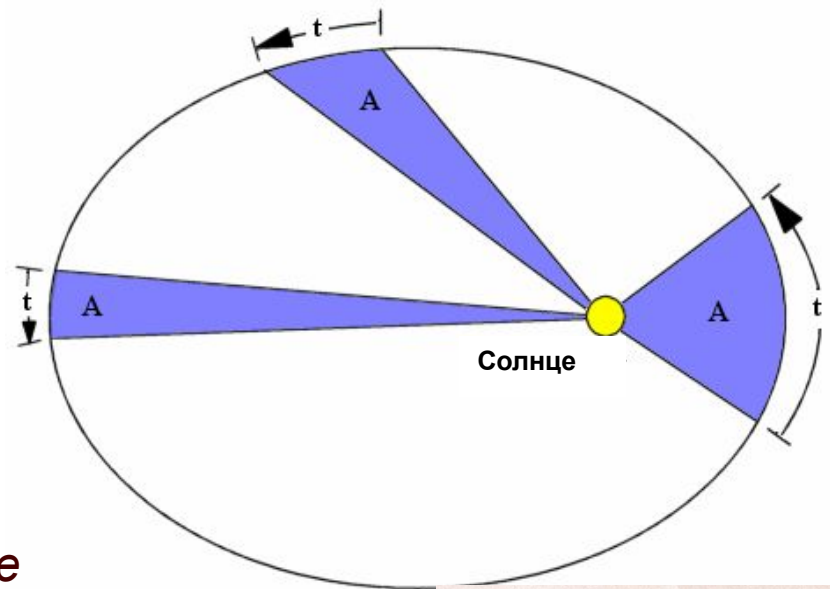
Законы Кеплера (1609-1618)

Первый закон Кеплера:

- планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце

Второй закон Кеплера:

- за равные промежутки времени (t) отрезок прямой, соединяющий Солнце и планету, заметает сектора равной площади



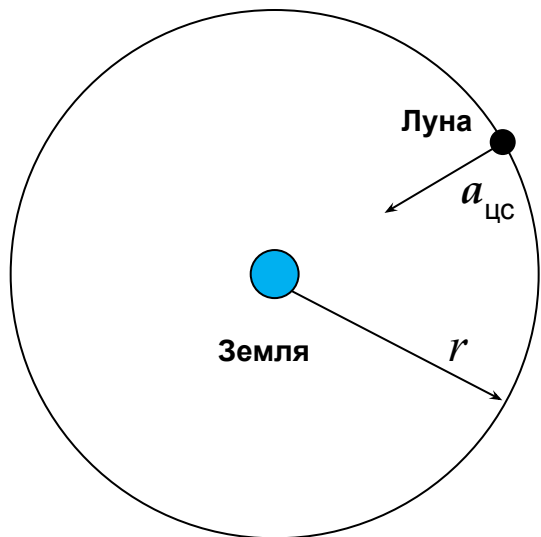
Третий закон Кеплера:

- Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей орбит планет:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



Луна.... Как ты далека! или: Как ты далека?



Закон динамики:

$$F = m \cdot a$$

Учтя: $a_{цс} = \frac{V^2}{r}$

$$m \frac{V^2}{r} = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

После сокращения:

$$V^2 = G \frac{M}{r}$$

Скорость движения по круговой орбите:

$$V = 2\pi r / T$$

После подстановки и преобразований:

$$\frac{4\pi^2}{GM_3} \left(\frac{T^2}{r^3} = 27,3 \text{ суток} \right)$$

Откуда радиус Лунной орбиты:

$$r = \sqrt[3]{\frac{GT^2 M_3}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{GM_3}{4\pi^2}} = 8 \text{ тыс. км,}$$

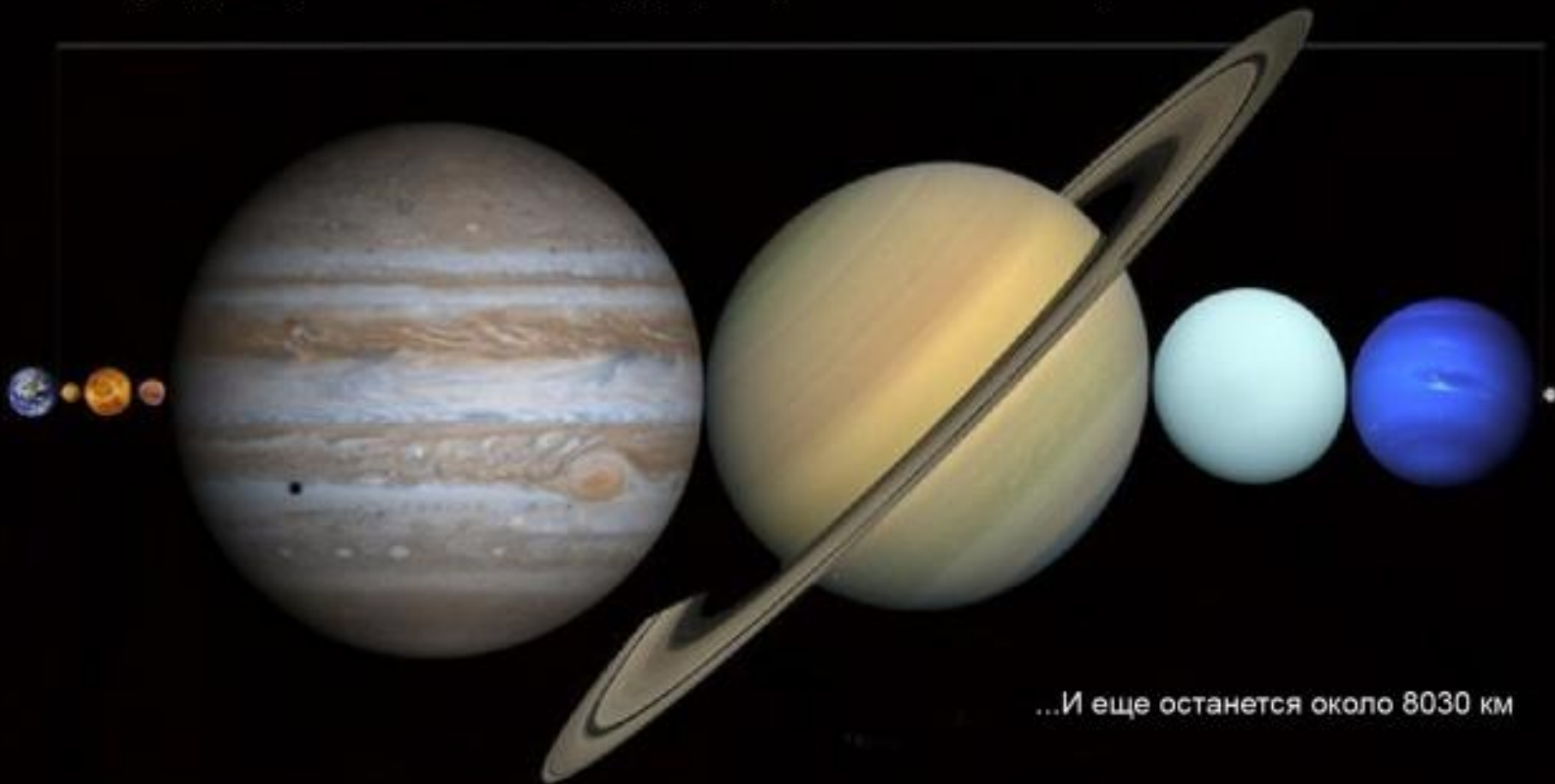
что **в 30 раз больше диаметра Земли**

Тогда скорость движения Луны по орбите вокруг Земли:

$$V = 1,02 \text{ км/с}$$

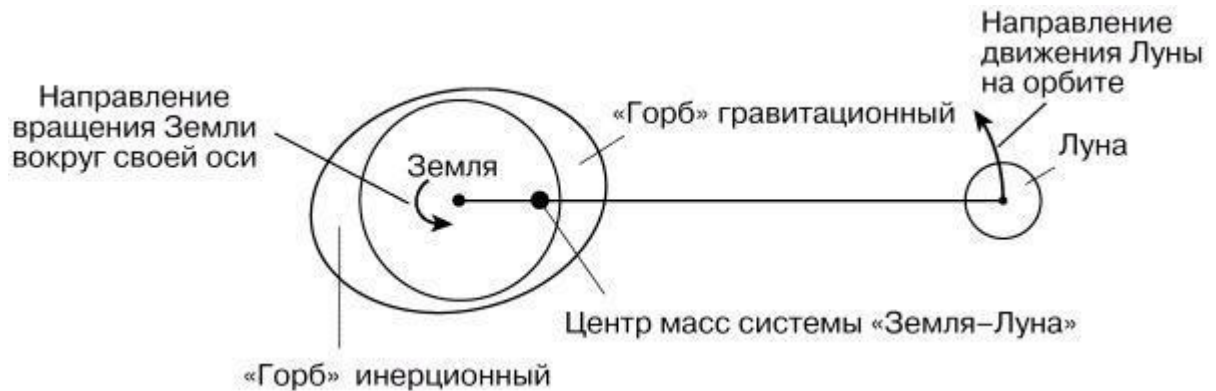
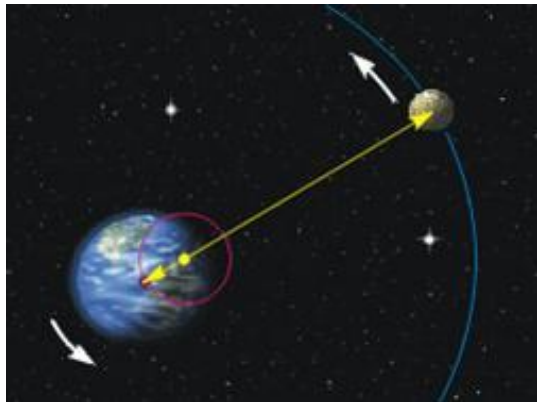
Луна.... Как ты далека! или: Как ты далека?

Среднее расстояние между центрами Земли и Луны — 384 467 км



...И еще останется около 8030 км

Сколько весит Луна?



Расположение **барицентра** (центра масс системы «Земля-Луна») -
– в 4650 км от центра Земли, или в 81,3 раза ближе, чем Луна

Отсюда:

$$m_{\text{Л}} = \frac{1}{81,3} M_{\text{З}}$$

Оценка размеров Луны

Зная расстояние до Луны ($r = 383$ тыс. км) и угловые размеры нашего спутника ($\varphi = 32'$)

$$\varphi = 32' = (32:60)^\circ = (32:60):57,3 \text{ рад} = 0,0093 \text{ рад},$$

определим диаметр Луны.

$$d = r \cdot \varphi \approx 3500$$

Разделив массу нашего спутника на объем ($\frac{4}{3} \pi R_L^3$), оценим плотность Луны:

$$\rho_L = 3350 \text{ кг} / \text{м}^3$$

что в **1,7 раз меньше**, чем у Земли.

Моделирование системы «Земля – Луна»

Моделирование системы «Земля – Луна» (Масштаб 1:100 000 000, или 1:10⁸)

Небесное тело	<u>Истинные размеры</u> , тыс. км		Модельные размеры, см	
	Диаметр	Удаленность	Диаметр	Удаленность
Земля	12,8	383	12,8	383
Луна	3,5		3,5	

Ускорение свободного падения на Луне

Воспользуемся уже выведенной формулой:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Тогда

$$\frac{g_{\text{Л}}}{g_3} = \frac{G \frac{m_{\text{Л}}}{R_{\text{Л}}^2}}{G \frac{M_3}{R_3^2}}$$

Откуда

$$g_{\text{Л}} = \frac{m_{\text{Л}}}{M_3} \cdot \left(\frac{R_3}{R_{\text{Л}}} \right)^2 g_3 = \frac{1}{81,3} \cdot \left(\frac{6,4}{1,75} \right)^2 g_3 \approx \frac{1}{6} g_3$$

Таким образом, тела **на Луне** весят **в 6 раз легче**, чем на Земле.

Солнце

Луна находится точно в 1 или 3 четверти



Солнце

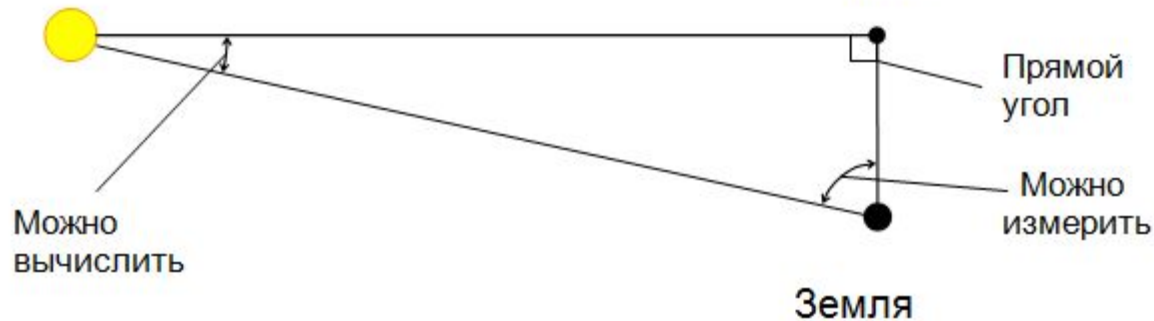


Рис.35. Схема эксперимента по определению удаленности Солнца

Истинное значение требуемого угла составляет $89,85^\circ$, поэтому ошибка была очень велика.

Аристарх из Самоса
(320 – 250 гг. до н.э.),
Греция



Аристарх измерил угол Солнце – Земля – Луна и получил величину, равную 87° . На основании этого он сделал вывод, что Солнце примерно в 20 раз дальше от Земли, чем Луна

Расстояние до светила и размеры Солнца

Современные методы определения расстояния до Солнца:

- радиолокация;
- лазерное зондирование;
- применение космической техники и др.

Астрономическая единица длины (а.е.) равна большой полуоси эллиптической орбиты Земли и, согласно свойствам эллипса, среднему расстоянию Земли от Солнца.

**Точное значение а.е. - $149\,597\,870 \pm 2$ км,
округленное - 150 миллионов километров.**

Свет, испускаемый Солнцем, достигает Земли за 8 минут и 20 секунд, или за 500 секунд!

Расстояние до светила и размеры Солнца



20. 03. 2015 г.
13.10...13.20,
частное Солнечное
затмение
(Фото – Иваний М.Б.)



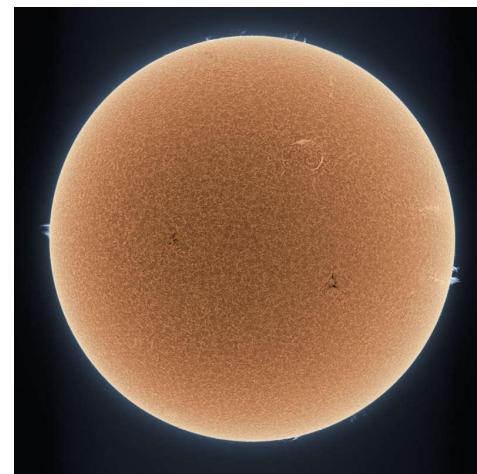
Учтем практическое равенство угловых
размеров Солнца и Луны и определим
диаметр Солнца сходным образом:
1392 тысячи километров,
что в 110 раз превышает диаметр Земли

Масса Солнца – 2 000 000 000 000 000 000 000 000 000 тонн!



Используем ранее
формулой:

$$\frac{4\pi^2}{GM_3} = \frac{T^2}{r^3}$$



Для пары «Солнце – Земля»:

$$\frac{4\pi^2}{GM_C} = \frac{T_3^2}{(a.e.)^3}$$

Отсюда легко получить выражение для массы Солнца:

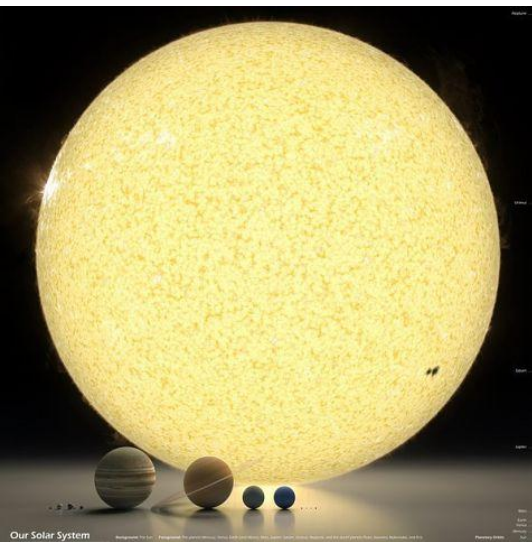
$$M_C = \frac{4\pi^2 (a.e.)^3}{GT_3^2}$$

Эта величина ($2 \cdot 10^{30}$ кг) превышает Земную массу в **330 тысяч раз**.

Средняя плотность Солнечного вещества* составляет 1.41 г/см^3 .

* Солнце состоит из газа, точнее сильно нагретой и сжатой плазмы

Моделирование Солнца, Луны и Земли



Модельные размеры

Небесное тело	Масштаб $1:10^8$		Масштаб $1:10^9$	
	Диаметр	Расстояние	Диаметр	Расстояние
Земля	12,8 см	—	12,8 мм	—
Луна	3,5 см	3,83 м	3,5 мм	383
Солнце	14 м	1,5 км	1,4 м	150 м

Масштабное моделирование Солнечной системы:

- либо модели космических тел будут микроскопическими,
- либо расстояния до них будут настолько неохватно велики, что практически устраняет возможность их совместного наглядного наблюдения

Вывод:

размеры тел Солнечной системы и расстояния между ними таковы, что наглядно показать строение Солнечной системы невозможно!

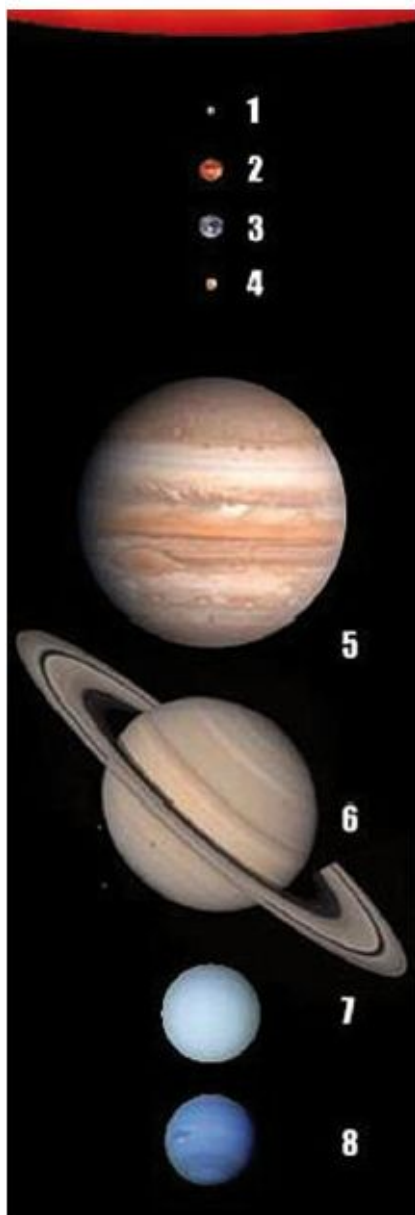
Солнце и его окружение



Солнце и его окружение



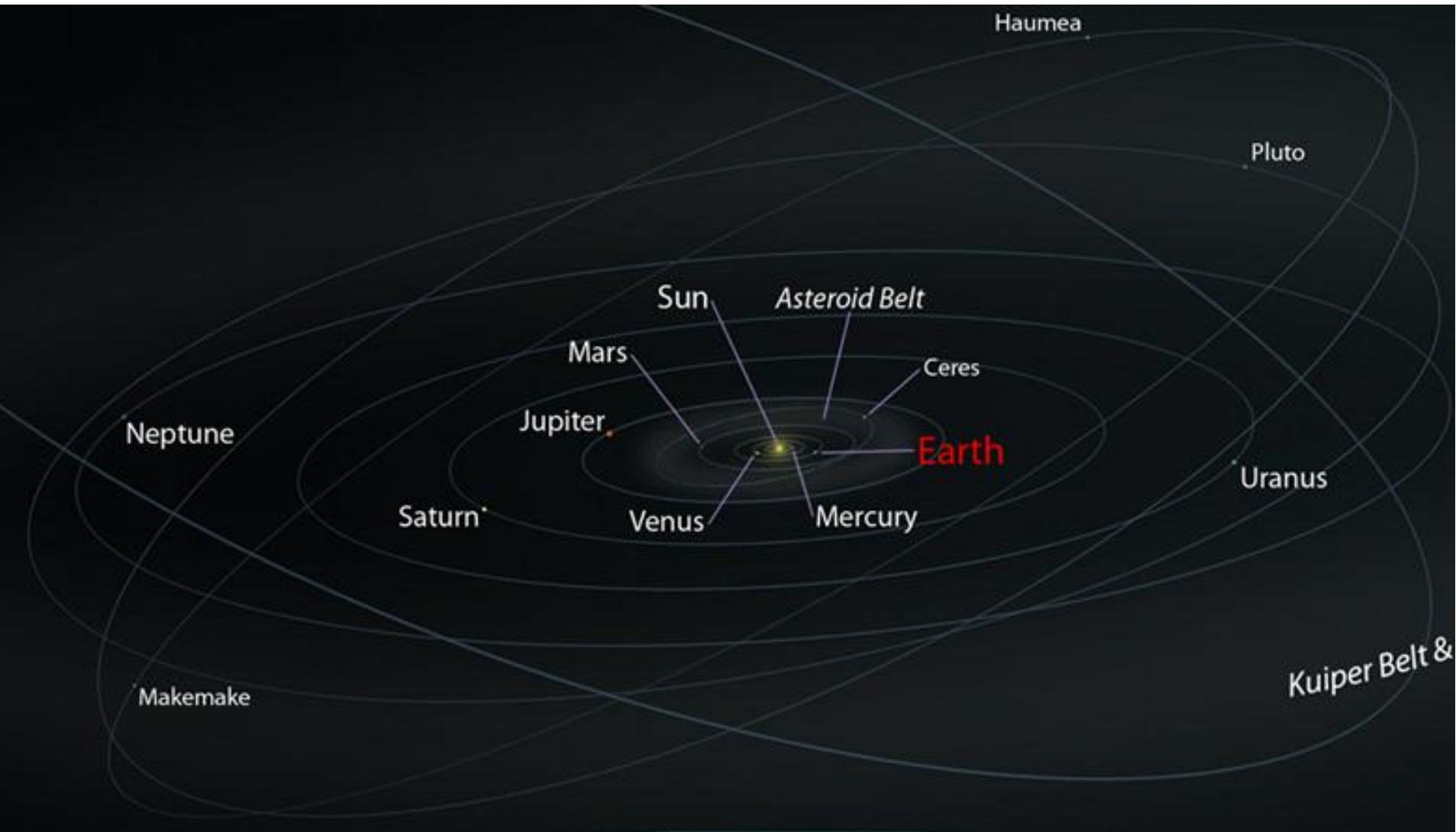
Солнце и его окружение



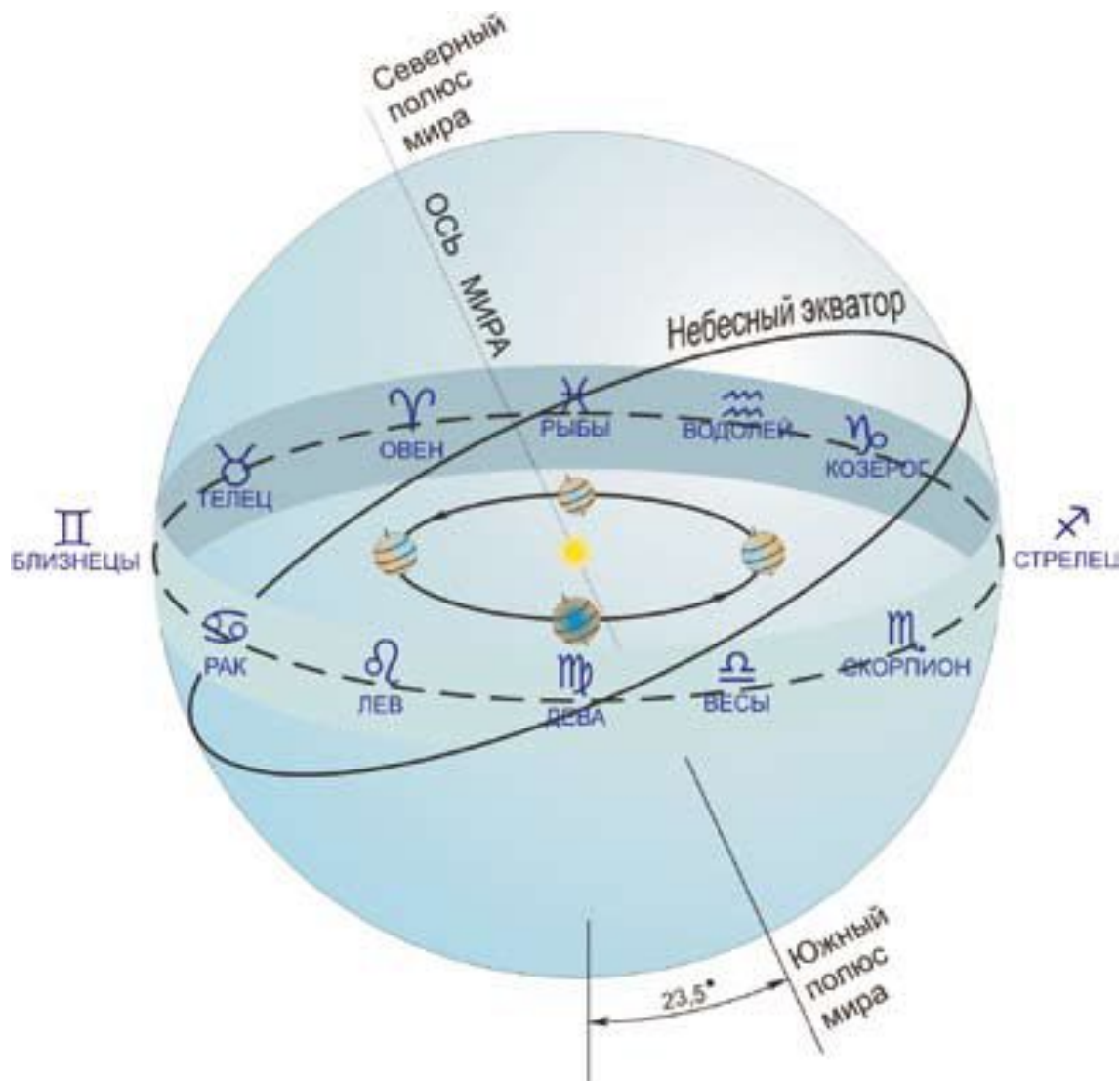
*Планеты Солнечной системы
и их астрономические символы*

Место от Солнца	Название планеты	Астрономический символ планеты
1	Меркурий	♿
2	Венера	♀
3	Земля	♁ или ♂
4	Марс	♂
5	Юпитер	♃
6	Сатурн	♄
7	Уран	♅ или ♁
8	Нептун	♆

Солнечная система



Пояс Зодиака на небесной сфере

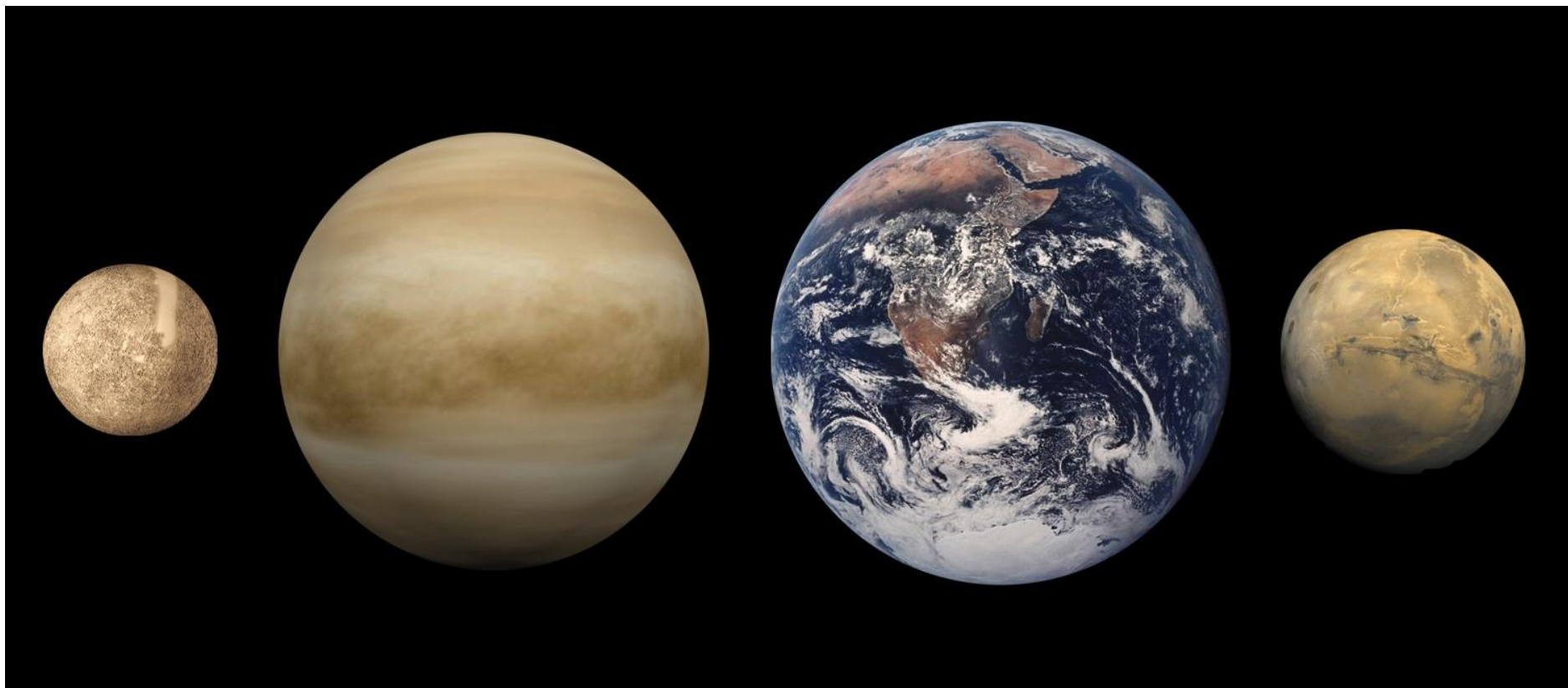


Планеты Солнечной системы

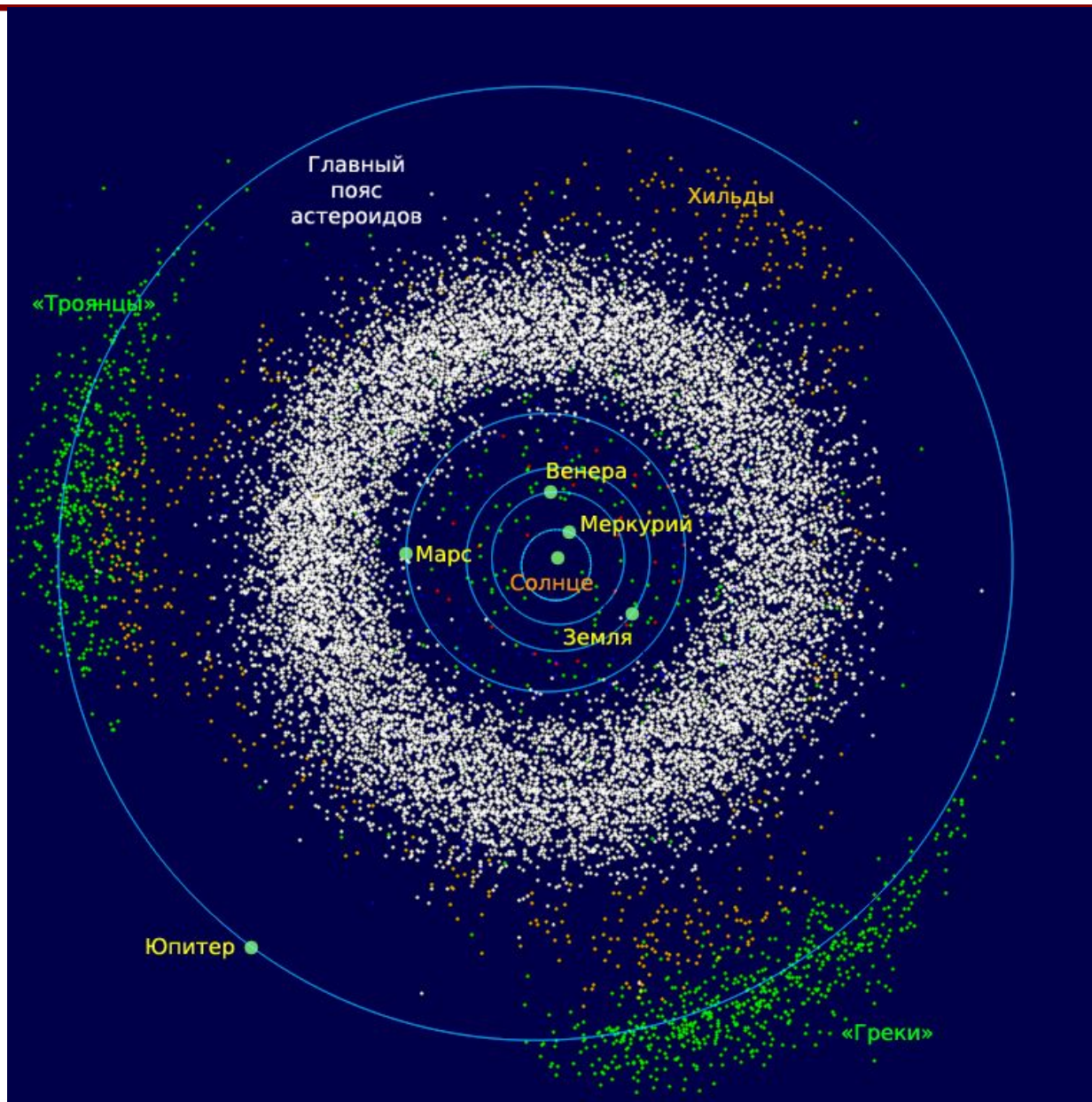
Планета	Экваториальный диаметр (земных диаметров)	Наклон экватора к плоскости орбиты	Масса (земных масс)	Орбитальный радиус (а. е.)	Орбитальный период (лет)	Сутки (земных суток)	Спутники
Меркурий	0,38	0,01°	0,06	0,38	0,24	58,6	нет
Венера	0,95	2°	0,82	0,72	0,62	-243*	нет
Земля	1,00	23°	1,00	1,00	1,00	1,00	1
Марс	0,53	25°	0,11	1,52	1,88	1,03	2
Юпитер	11,2	3°	318	5,20	11,86	0,414	67
Сатурн	9,41	26°	95	9,54	29,46	0,426	63
Уран	3,98	81°	14,6	19,22	84,01	-0,718	27
Нептун	3,81	28°	17,2	30,06	164,79	0,671	14

* Отрицательное значение продолжительности суток означает вращение планеты вокруг своей оси в противоположную сторону своего орбитального движения.

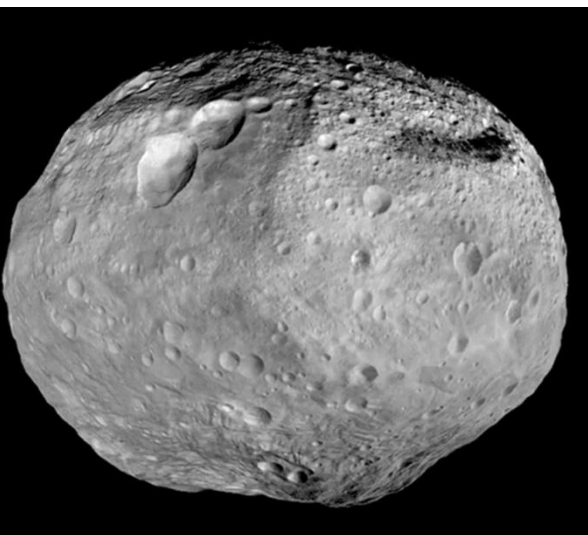
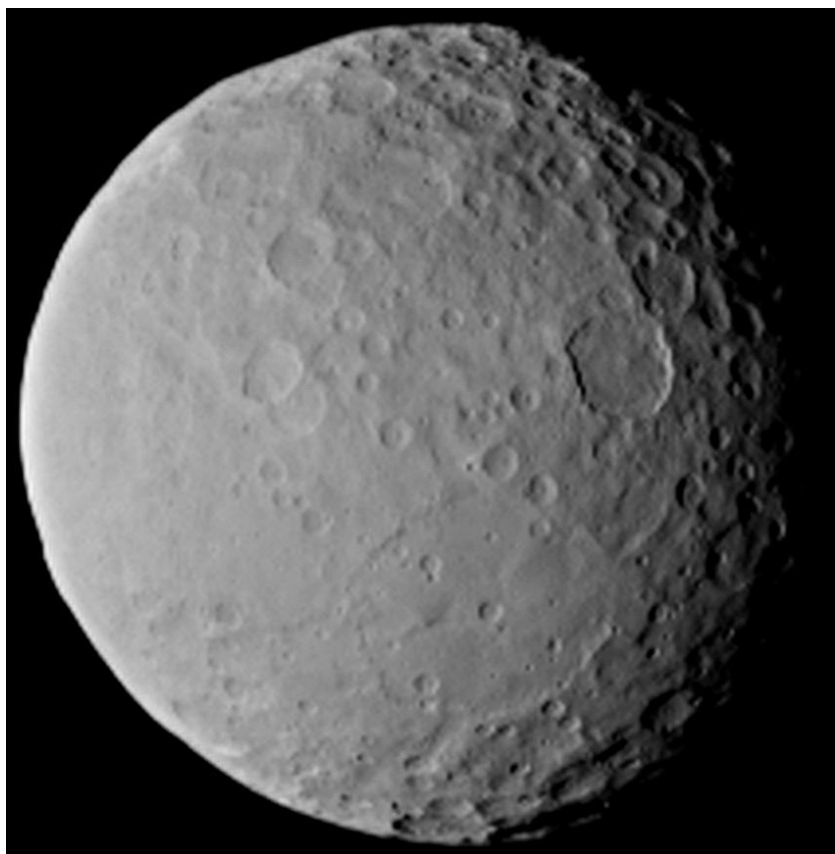
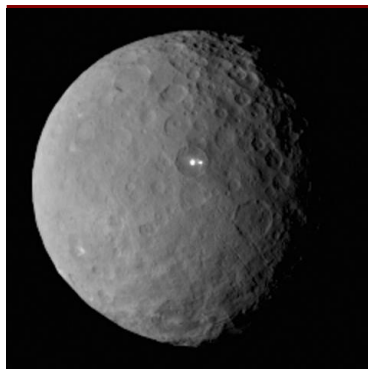
Планеты земной группы



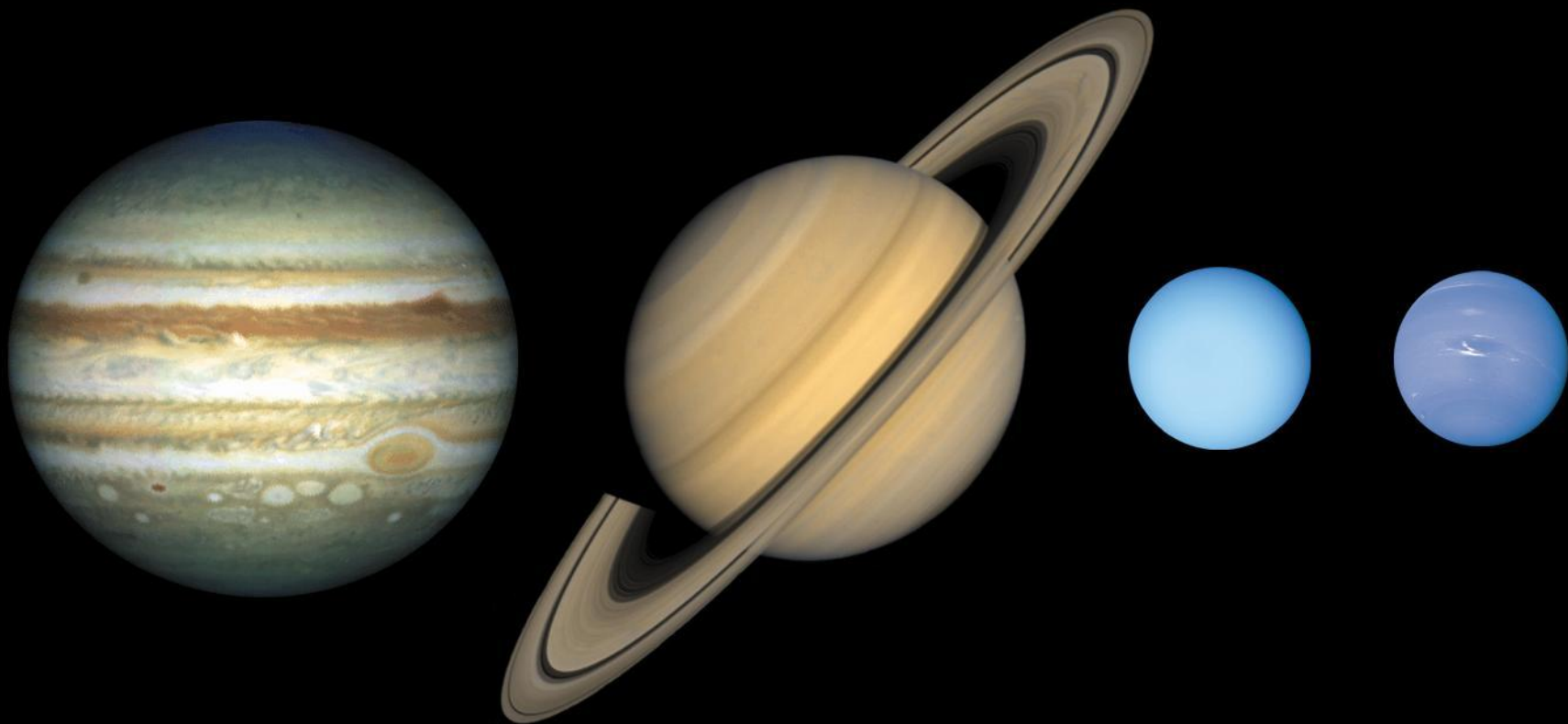
Пояс астероидов (белый) и троянские астероиды (зелёный цвет)



Церера и Веста – крупнейшие тела пояса астероидов



Планеты-гиганты



Самые большие тела Солнечной системы

Название	Солнце	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Земля	Венера	Марс	Ганимед
Диаметр D_{\odot}	110	11	9,1	4,0	3,9	1	0,95	0,53	0,41
Рисунок									
Название	Титан	Меркурий	Каллисто	Ио	Луна	Европа	Тритон	Эрида	Плутон
Диаметр D_{\odot}	0,40	0,38	0,38	0,29	0,27	0,25	0,21	0,18	0,18
Рисунок									

Благодарю за внимание!

Теоретическая механика

Леготин Сергей Дмитриевич

Благодарю за внимание!











