

**Законы
Движения
Небесных тел.**

- &10 вопросы, 12,
 - &14 части 4, 5, 6 (конспект)
- 1) Почему движение планет происходит не в точности по законам Кеплера?
 - 2) Как было установлено местоположение планеты Нептун?
 - 3) Какая из планет вызывает наибольшие возмущения в движении других тел Солнечной системы и почему?
 - 4) Какие тела Солнечной системы испытывают наибольшие возмущения и почему?

1*. Для любой из планет Солнечной системы определите:

- во сколько раз отличаются скорости в перигее и апогее,
- первую, вторую и третью космическую скорость,
- ускорение свободного падения на планете,
- среднюю плотность планеты,
- ускорение свободного падения, создаваемого Солнцем,
- среднюю орбитальную скорость, период обращения.

Знаете: *массу планеты, массу Солнца, радиус планеты, расстояние до Солнца.*

2*. Почему Г. Кавендиша называют «человек, взвесивший землю»? Обоснуйте это вычислениями.

3*. Как определили массу Солнца.

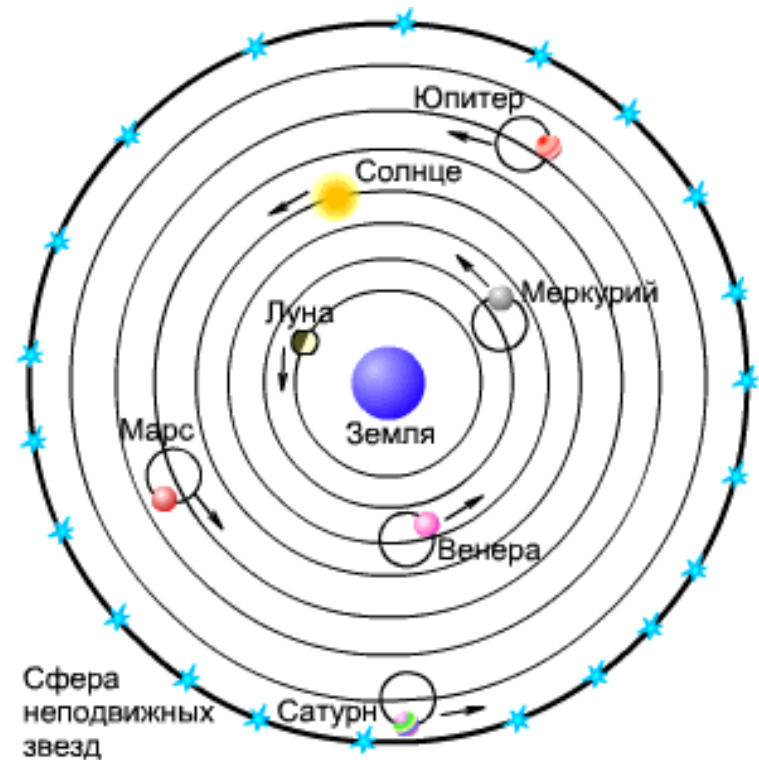
4*. Выведите из закона Всемирного тяготения третий закон Ньютона и на основании этого докажите, что законы Кеплера – частный случай закона Всемирного тяготения.

5*. Особенности орбит Урана и Нептуна.

**С древнейших времен считалось,
что небесные тела движутся по «идеальным
кривым» - окружностям.**

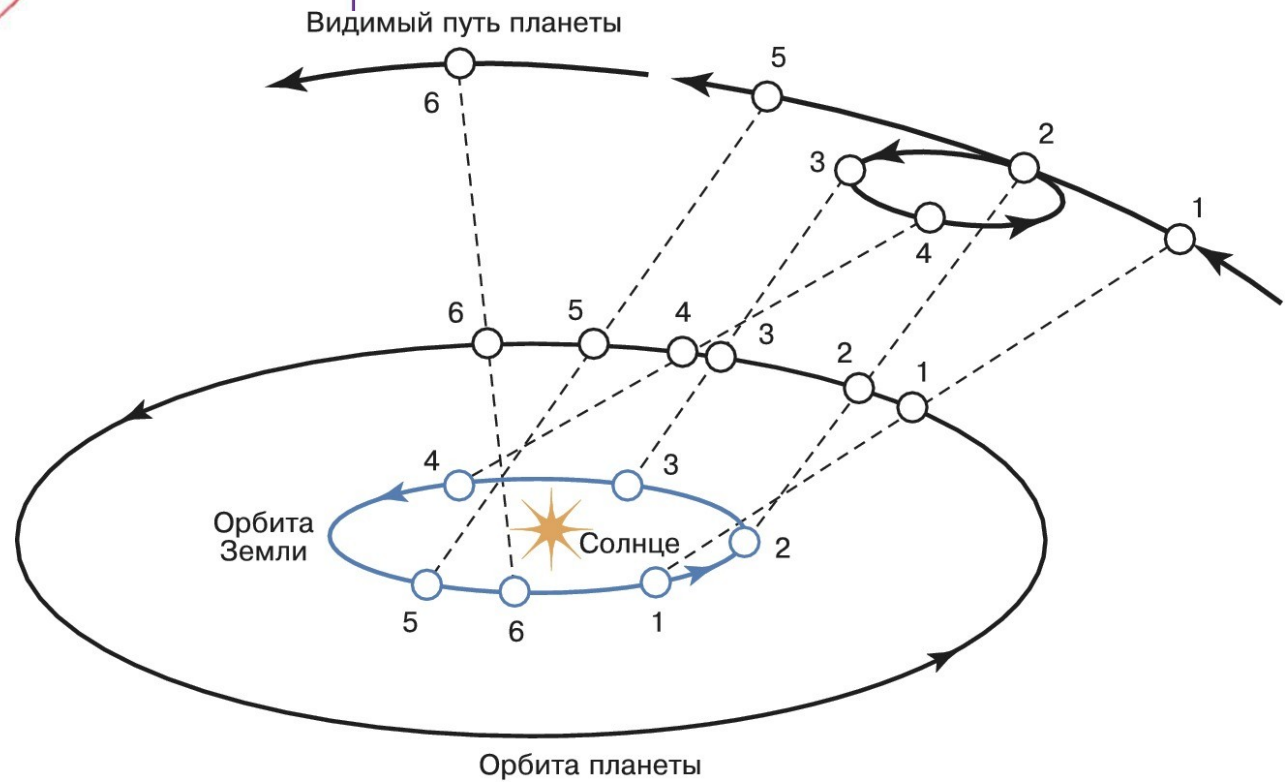
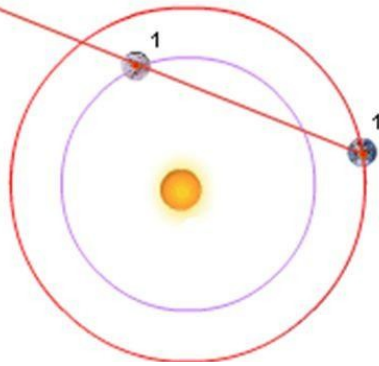


Клавдий Птолемей
(ок. 90 – ок. 160)

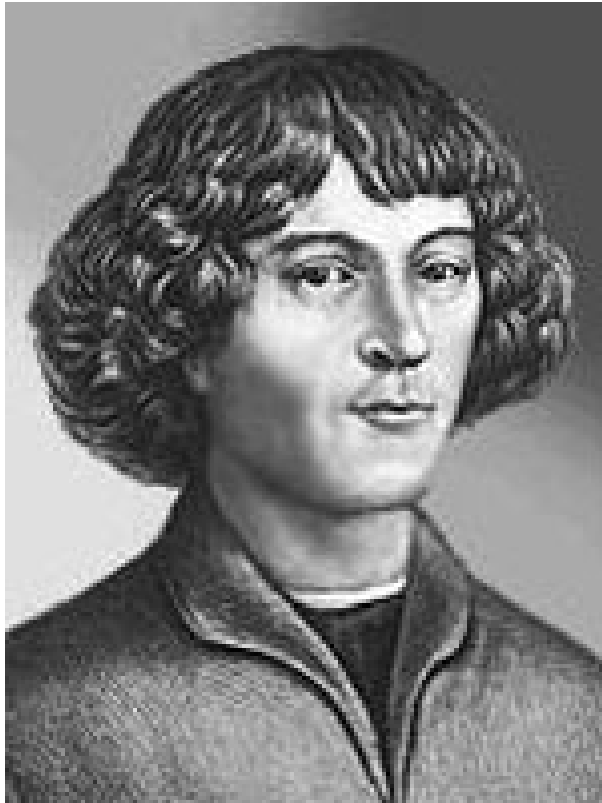


Геоцентрическая система
Птолемея

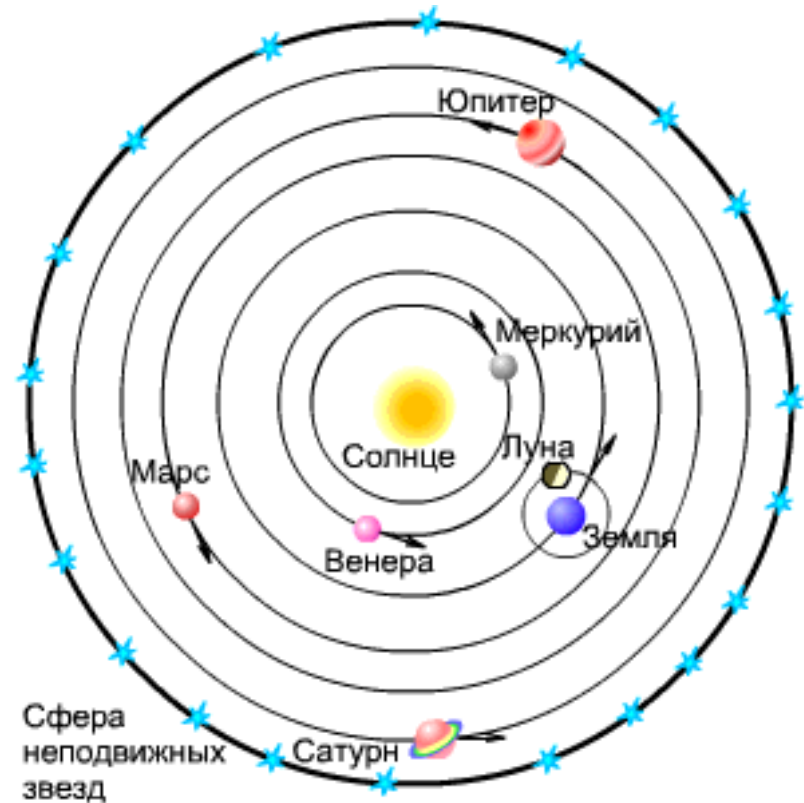
Видимое движение планет



В теории Николая Коперника, создателя гелиоцентрической системы мира, круговое движение также не подвергалось сомнению.

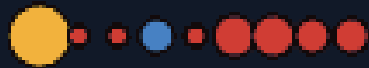


Николай Коперник
(1473 – 1543)



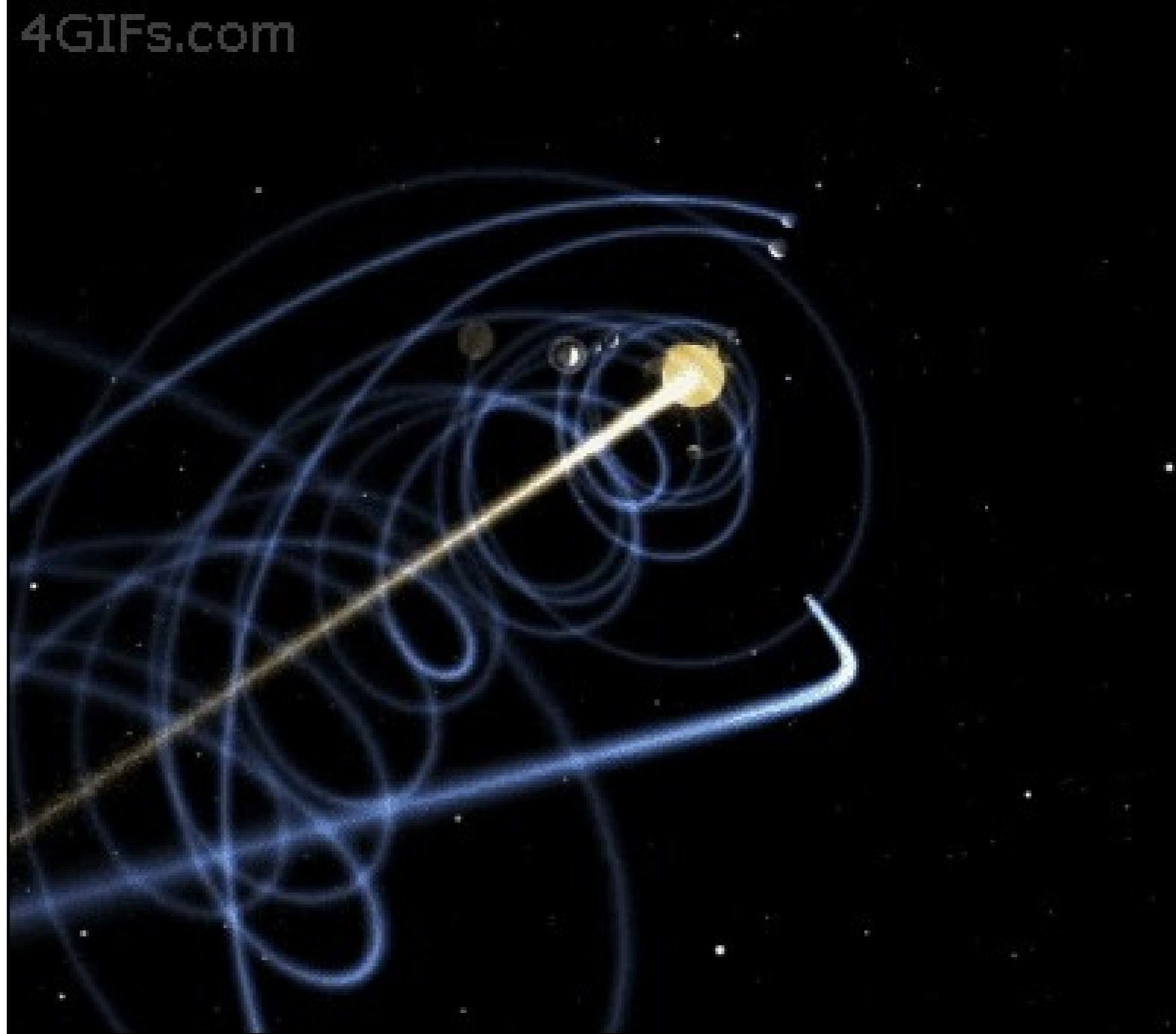
Гелиоцентрическая система
мира Коперника

Heliocentrism

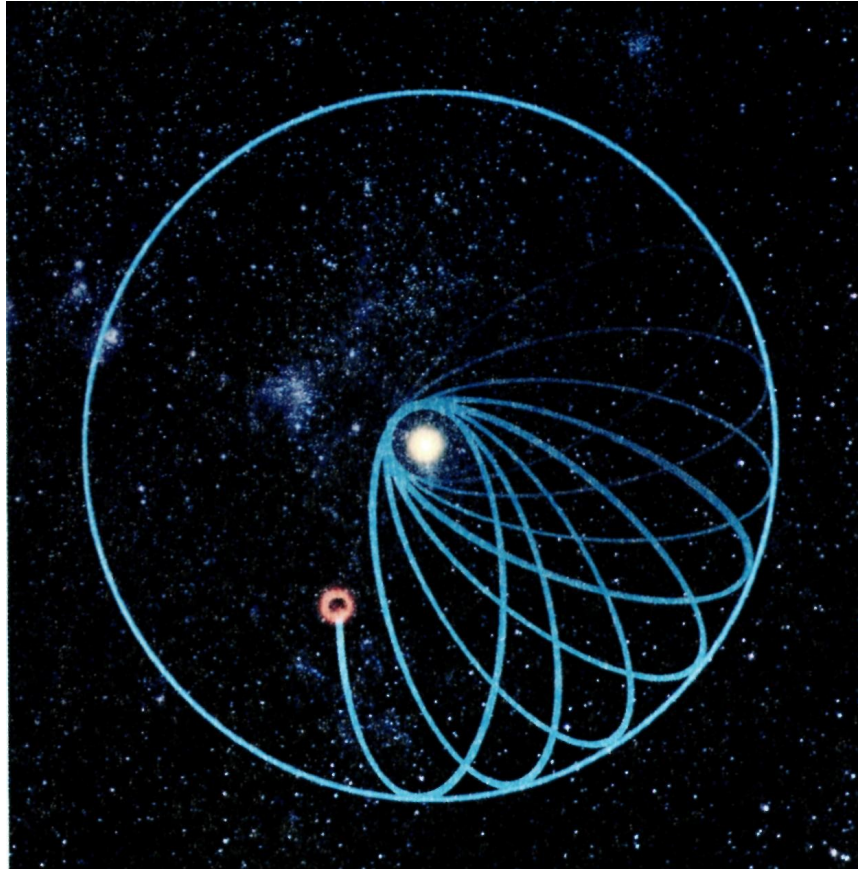


Geocentrism





Орбита Меркурия



**Первый, кто усомнился в этом,
был датский астроном Тихо Браге**



Тихо Браге
(1546 – 1601)

Наблюдаемое положение планет не соответствовало предвычисленному в соответствии с теорией кругового движения планет вокруг Солнца.

Иоганн Кеплер, изучая движение Марса по результатам многолетних наблюдений датского астронома Тихо Браге, обнаружил, что орбита Марса не окружность, а имеет вытянутую форму эллипса.

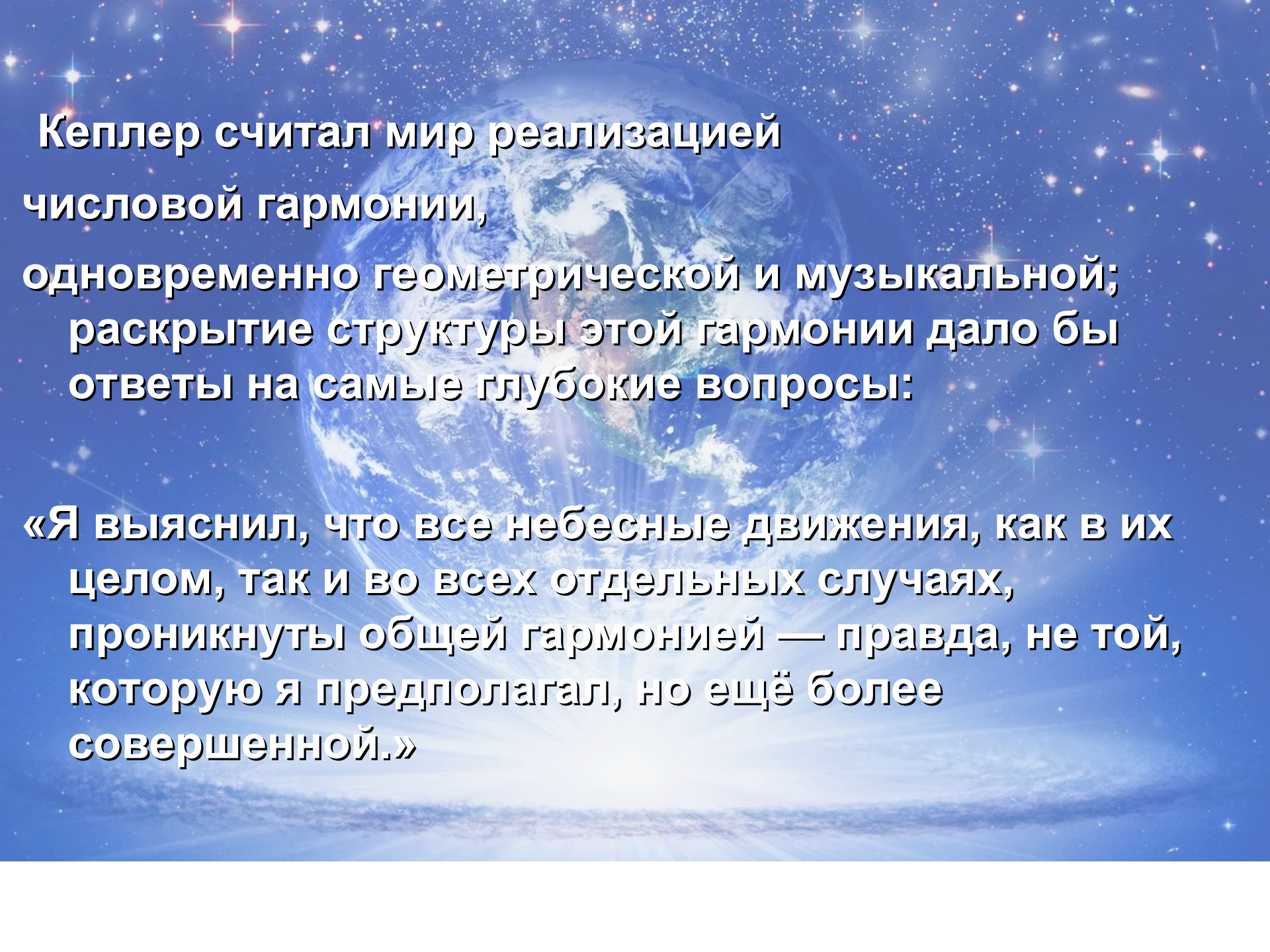


Иоганн Кеплер
(1571 – 1630)



Вайль-дер-Штадт
Тюбинген
Грац
Прага
Линц
Ульм





**Кеплер считал мир реализацией
числовой гармонии,
одновременно геометрической и музыкальной;
раскрытие структуры этой гармонии дало бы
ответы на самые глубокие вопросы:**

**«Я выяснил, что все небесные движения, как в их
целом, так и во всех отдельных случаях,
проникнуты общей гармонией — правда, не той,
которую я предполагал, но ещё более
совершенной.»**

После смерти Кеплера наследникам досталось: поношенная одежда, 22 флорина наличными, 29000 флоринов невыплаченного жалованья, 27 опубликованных рукописей и множество неопубликованных.

Со смертью Кеплера его злоключения не закончились.

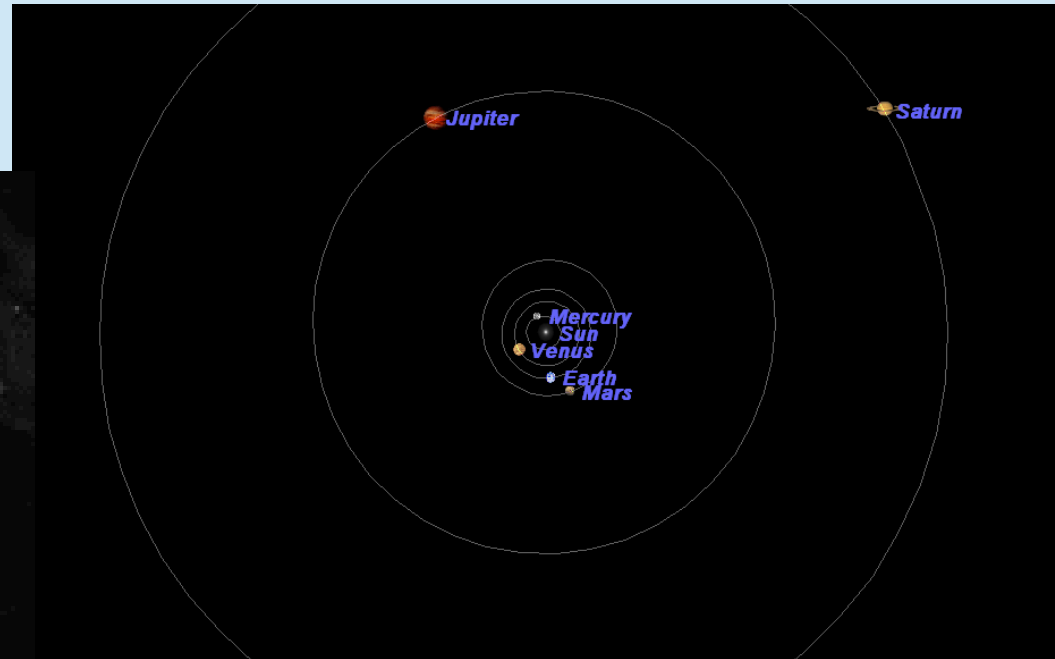
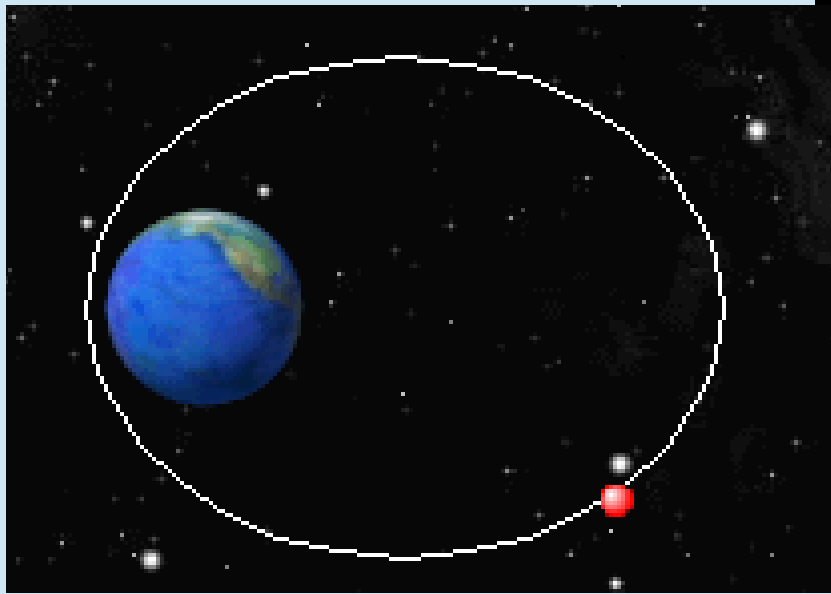
В конце Тридцатилетней войны было полностью разрушено кладбище, где он похоронен, и от его могилы ничего не осталось.

Часть архива Кеплера исчезла. В 1774 году большую часть архива (18 томов из 22) по рекомендации Леонарда Эйлера приобрела Петербургская Академия наук, сейчас хранится в Санкт-Петербургском филиале архива РАН.

Кеплер исследовал движения

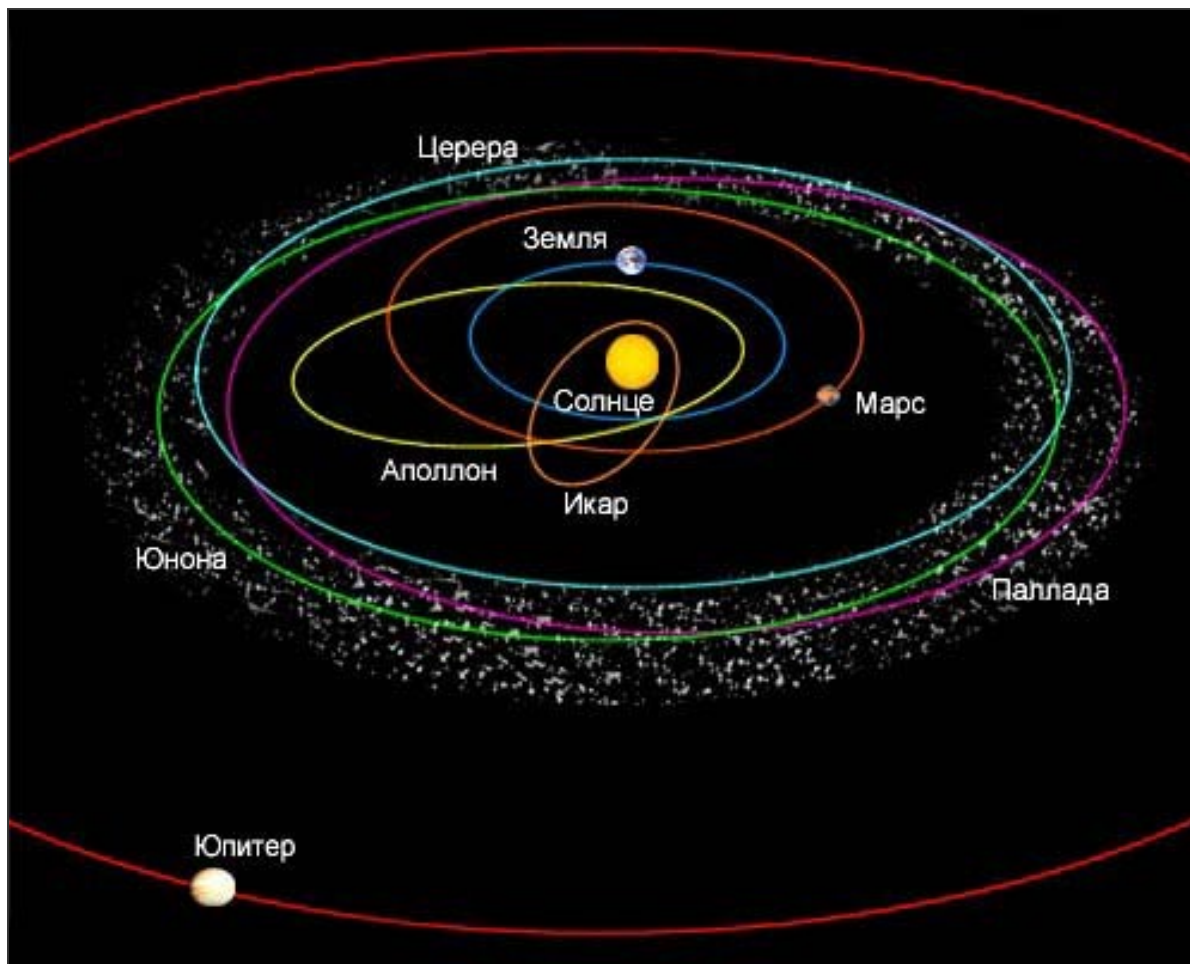
всех известных в то время планет

**и эмпирически вывел три закона движения планет
относительно Солнца.**

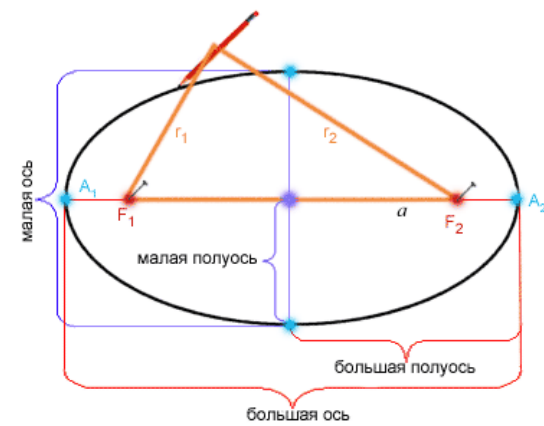


**Эти законы применимы не только
к движению планет, но и к движению их
естественных и искусственных спутников.**

Законы Кеплера – законы движения небесных тел



Эллипс - геометрическое место точек, для которых сумма расстояний от двух заданных точек (фокусов F_1 и F_2) есть величина постоянная и равная длине большой оси.



Радиус-вектор точки – линия, соединяющая любую точку эллипса с одним из его фокусов.

Эксцентриситет ϵ характеризует степень отличия эллипса от окружности и равен отношению расстояний между фокусами к большой оси:

$$\epsilon = F_1F_2 / A_1A_2 ,$$

При совпадении фокусов ($\epsilon = 0$) эллипс превращается в *окружность*.

Первый закон Кеплера:

Каждая планета движется по эллипсу,
в одном из фокусов которого находится Солнце.

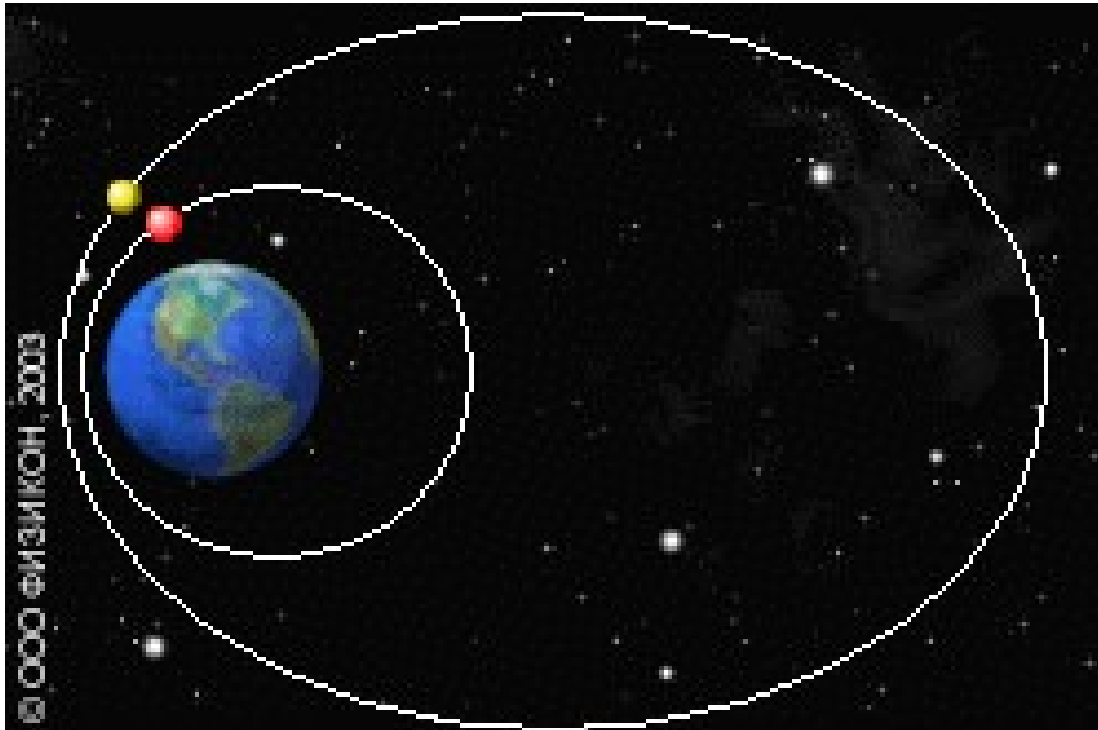
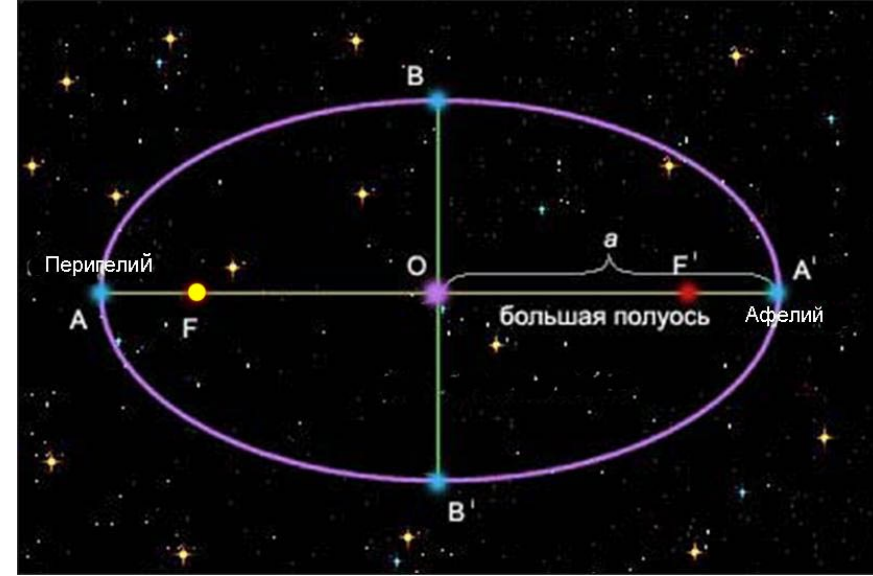


Иллюстрация первого закона Кеплера
на примере движения спутников Земли

Астрономическая единица –
среднее расстояние Земли
от Солнца

1 а.е. = 149 600 000 км.



Ближайшую к Солнцу точку орбиты называют
перигелием (греч. *пери* – возле, около; *Гелиос* –
Солнце),
а наиболее удаленную – **афелием** (греч. *апо* – вдали).

По эллипсам движутся не только планеты, но и их естественные и искусственные спутники.

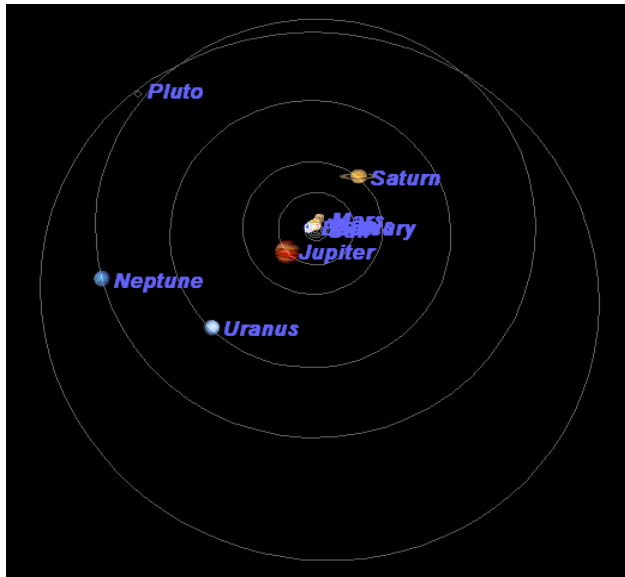
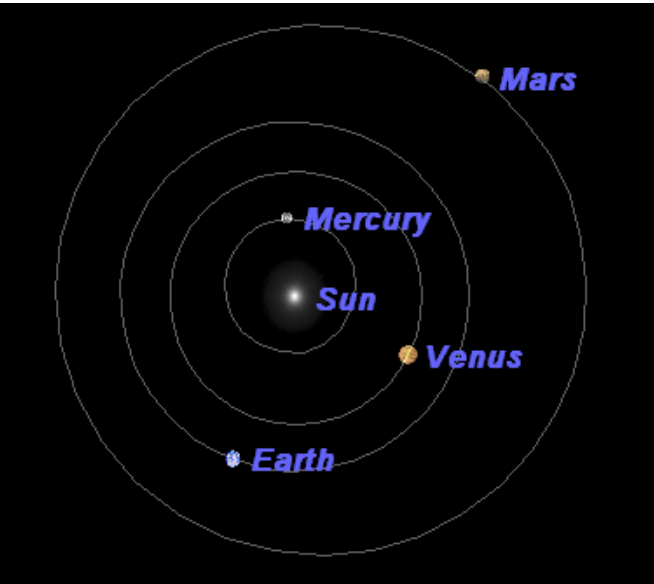
Ближайшая к Земле точка орбиты Луны или искусственного

спутника Земли называется перигеем (*греч. Гея или Ге – Земля*),

а наиболее удаленная – апогеем



Орбиты планет – эллипсы, мало отличающиеся от окружностей, так как их **эксцентриситеты малы.**



Название	Эксцентриситет
Меркурий	0,206
Венера	0,007
Земля	0,017
Марс	0,093

Название	Эксцентриситет
Юпитер	0,049
Сатурн	0,057
Уран	0,046
Нептун	0,011
Плутон	0,244

Второй закон Кеплера (закон равных площадей):

Радиус-вектор планеты
за **равные** промежутки **времени**
описывает **равные площади**.

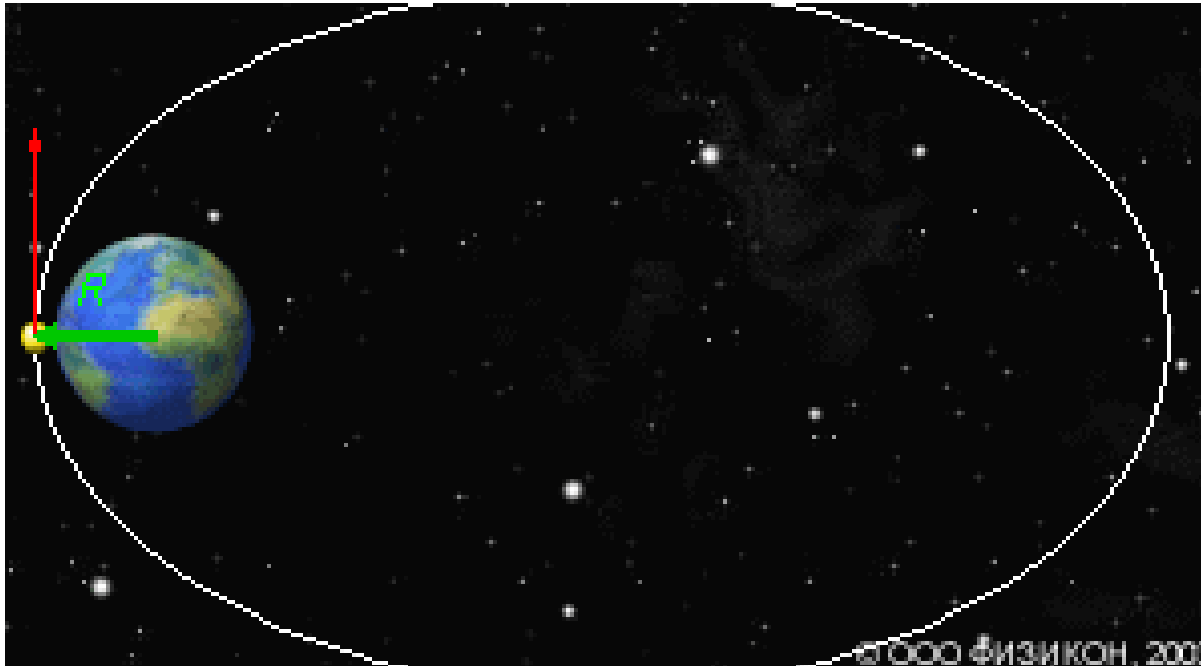
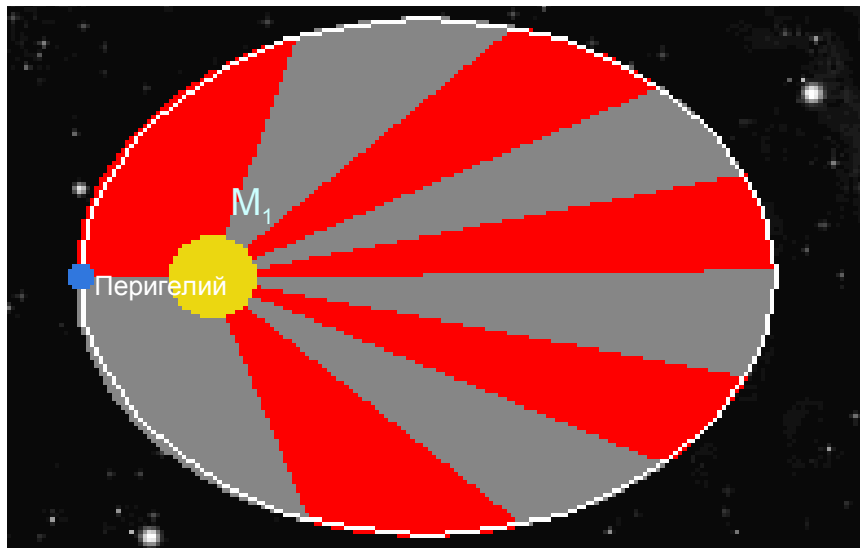


Иллюстрация второго закона Кеплера
на примере движения спутника Земли

Планеты движутся вокруг Солнца **неравномерно**:
*линейная скорость планет вблизи перигелия
больше, чем вблизи афелия.*



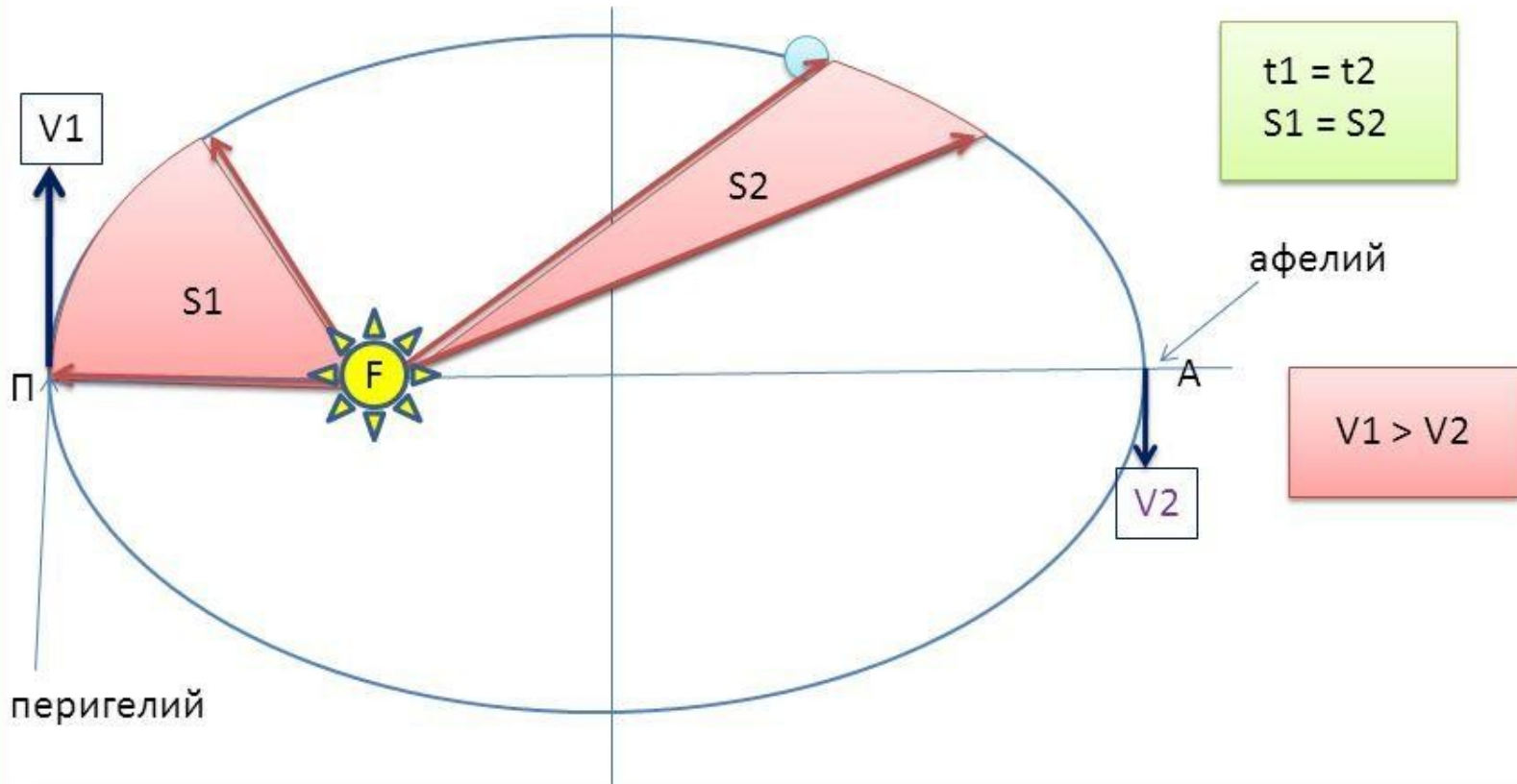
M_3

M_4

У Марса вблизи перигелия скорость равна 26,5 км/с, а около афелия - 22 км/с.

У некоторых комет орбиты настолько вытянуты, что вблизи Солнца их скорость достигает до 500 км/с, а в афелии снижается до 1 см/с.

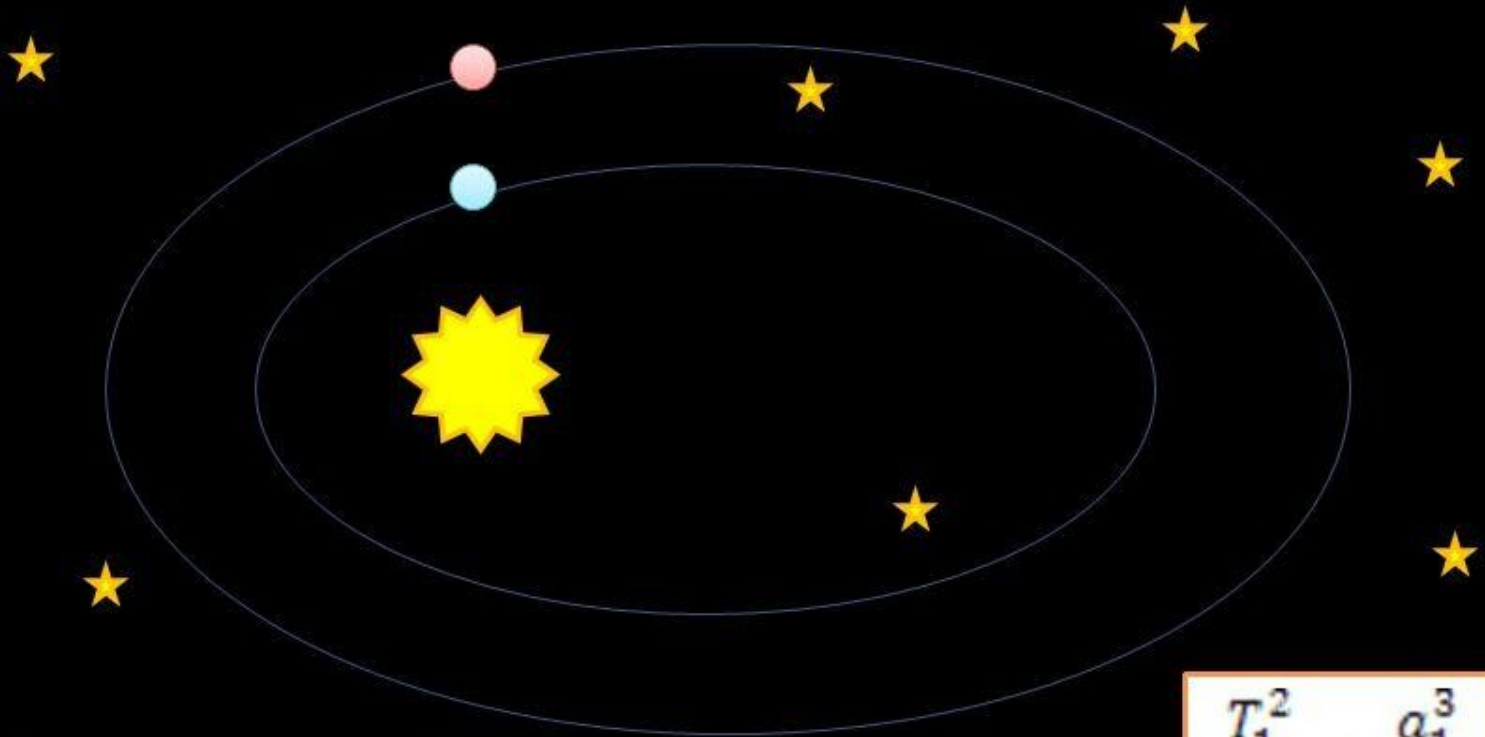
Первый и второй законы Кеплера



Планеты движутся по эллипсу в одном из фокусов которого находится солнце

Радиус вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади

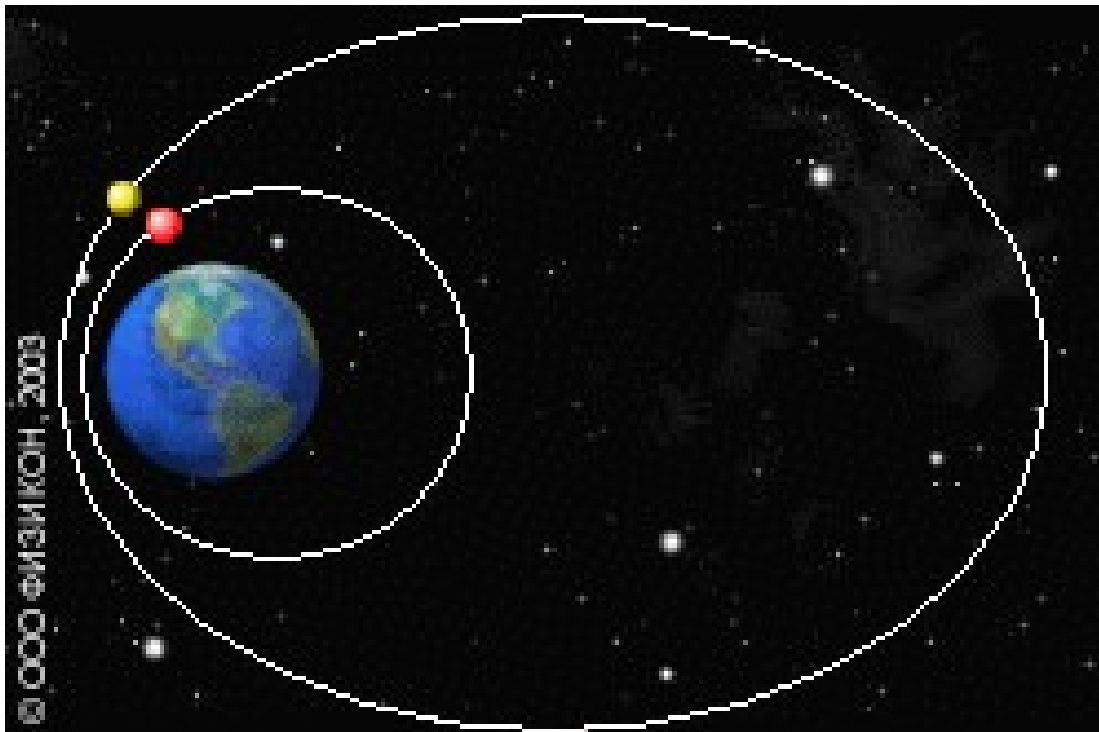
Третий закон Кеплера



Квадраты звездных периодов относятся
как кубы больших полуосей

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

Третий закон Кеплера:
Квадраты сидерических **периодов** обращений
двух планет
относятся
как **кубы** больших **полуосей** их орбит:



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

Иллюстрация третьего закона Кеплера
на примере движения спутников Земли

$$\frac{T_1^2 (M + m_1)}{T_2^2 (M + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Гравита́ция

(тяготéние) — универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами.

Гравитация является

самым слабым

из четырех типов

фундаментальных

взаимодействий.

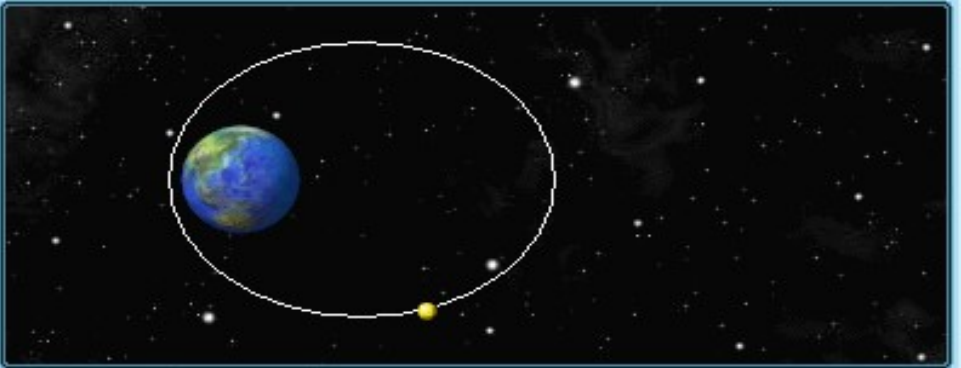
В общем случае

описывается
общей
теорией относительности Эйнштейна.

В квантовом пределе

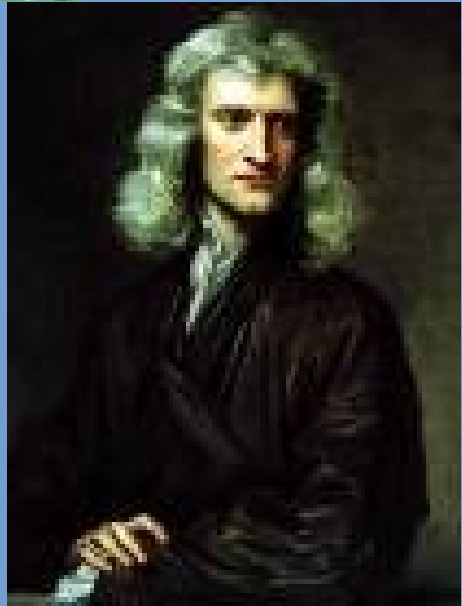
переходит в **квантовую теорию гравитации**, которая ещё **полностью не разработана.**

В приближении **малых скоростей и слабого взаимодействия** описывается **теорией тяготения Ньютона**



Стоп Сброс 1-й закон 2-й закон 3-й закон.

$r_0 =$	<input type="text" value="6.5"/>	<input type="button" value="↑"/>	<input type="button" value="↓"/>	10^3 км	$a = 17.0 \cdot 10^3 \text{ км}$	$e = 0.62$
$v_0 =$	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="button" value="↑"/>	<input type="button" value="↓"/>	км/с	$b = 13.4 \cdot 10^3 \text{ км}$	$T = 366 \text{ мин}$
$t = 280 \text{ мин}$						



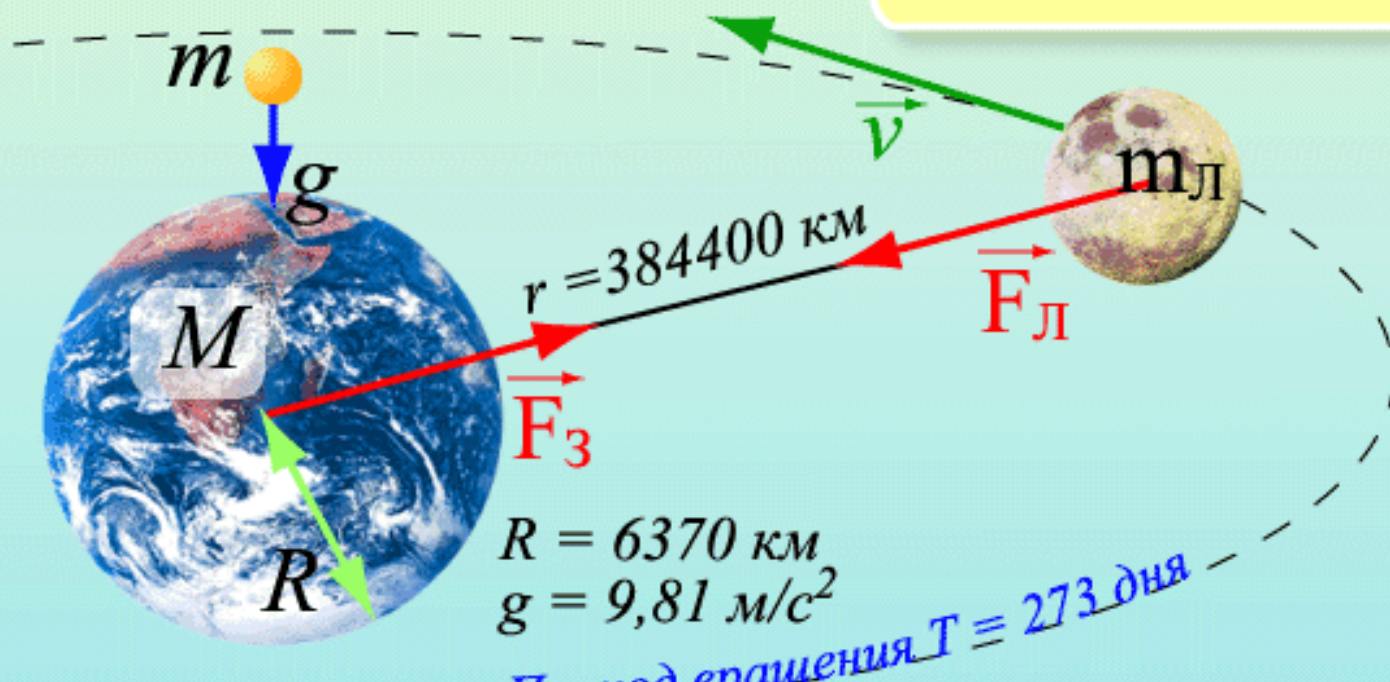
Центростремительное ускорение Луны

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

$$m_{\text{Л}} a = \gamma \frac{M m_{\text{Л}}}{r^2}$$

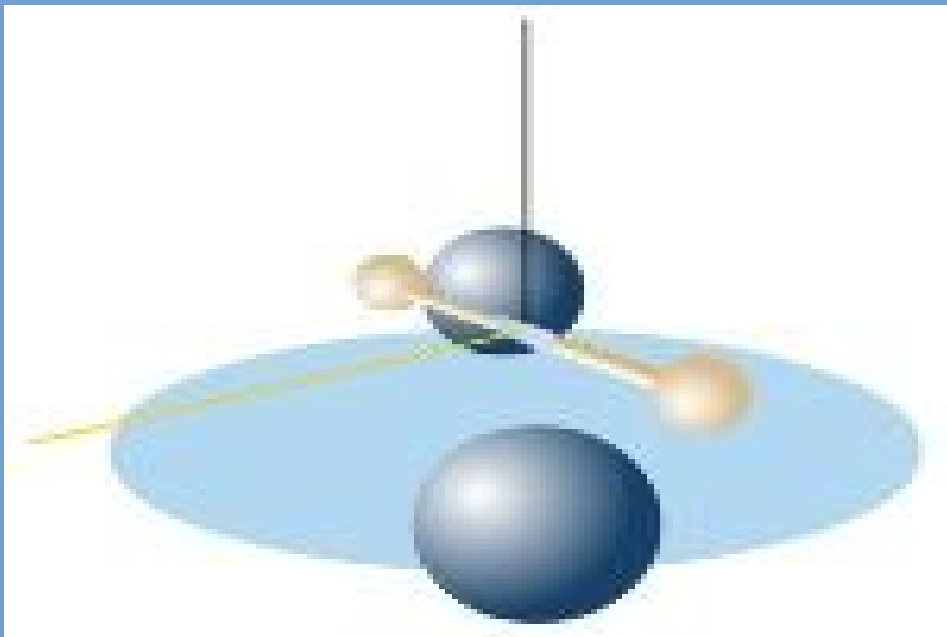
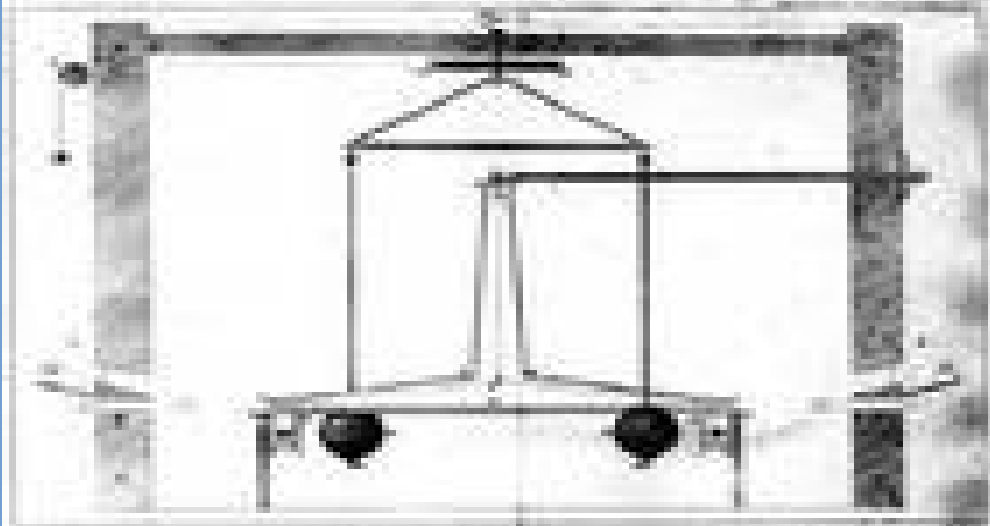
$$m g = \gamma \frac{m M}{R^2}$$

$$a = g \left(\frac{R}{r} \right)^2 \approx 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$



Совпадение $a_{\text{цс}}$ убедило Ньютона в справедливости закона

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



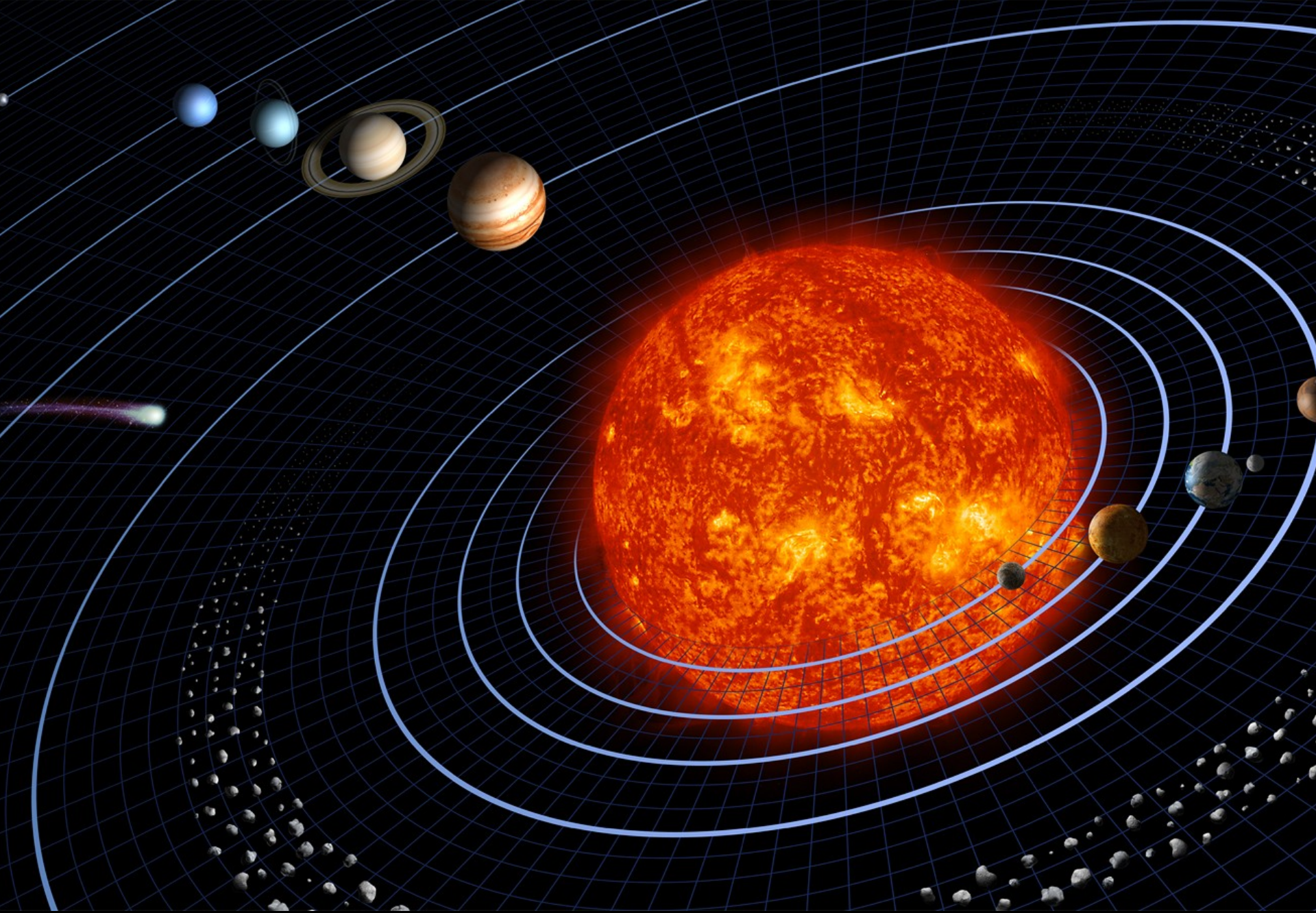
Генри Кавендиш
(1731 — 1810)

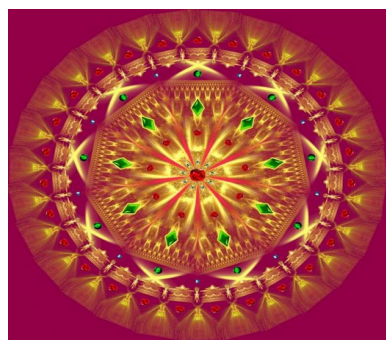
британский физик и химик



ДА ПРЕБУДЕТ С ТОБОЙ

$$F = \frac{G * M_1 * M_2}{R^2}$$





«Мощь тяготенья держит миры....»

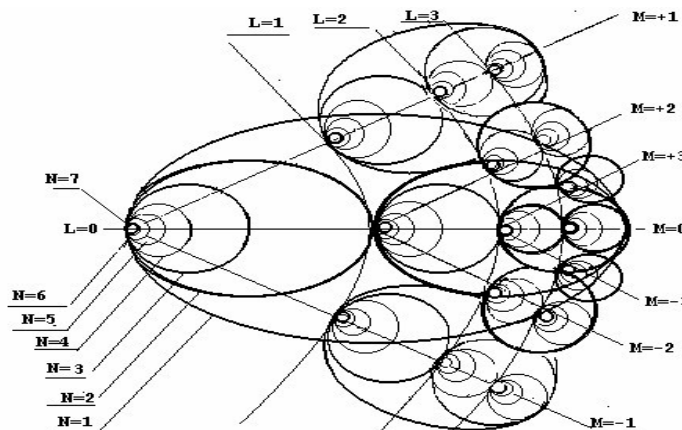
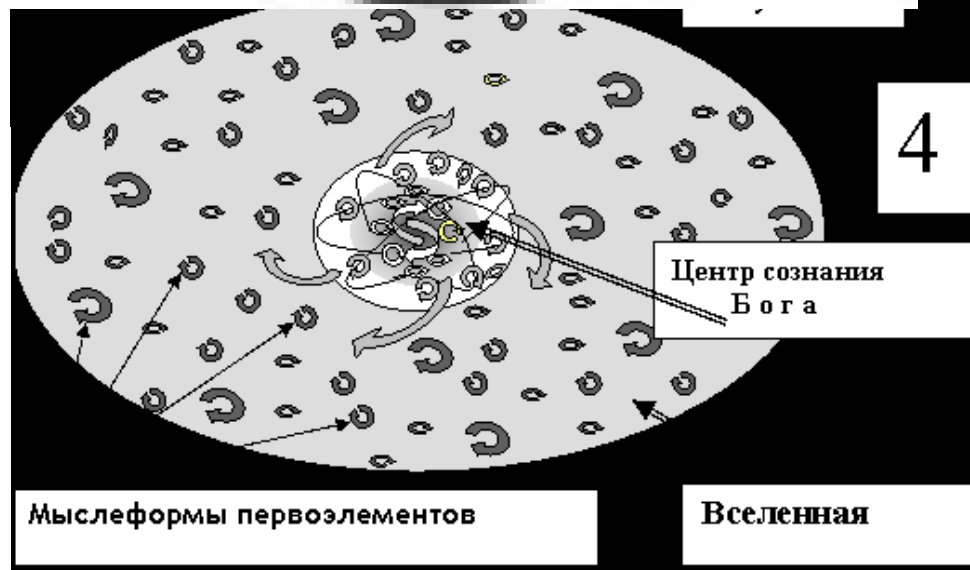


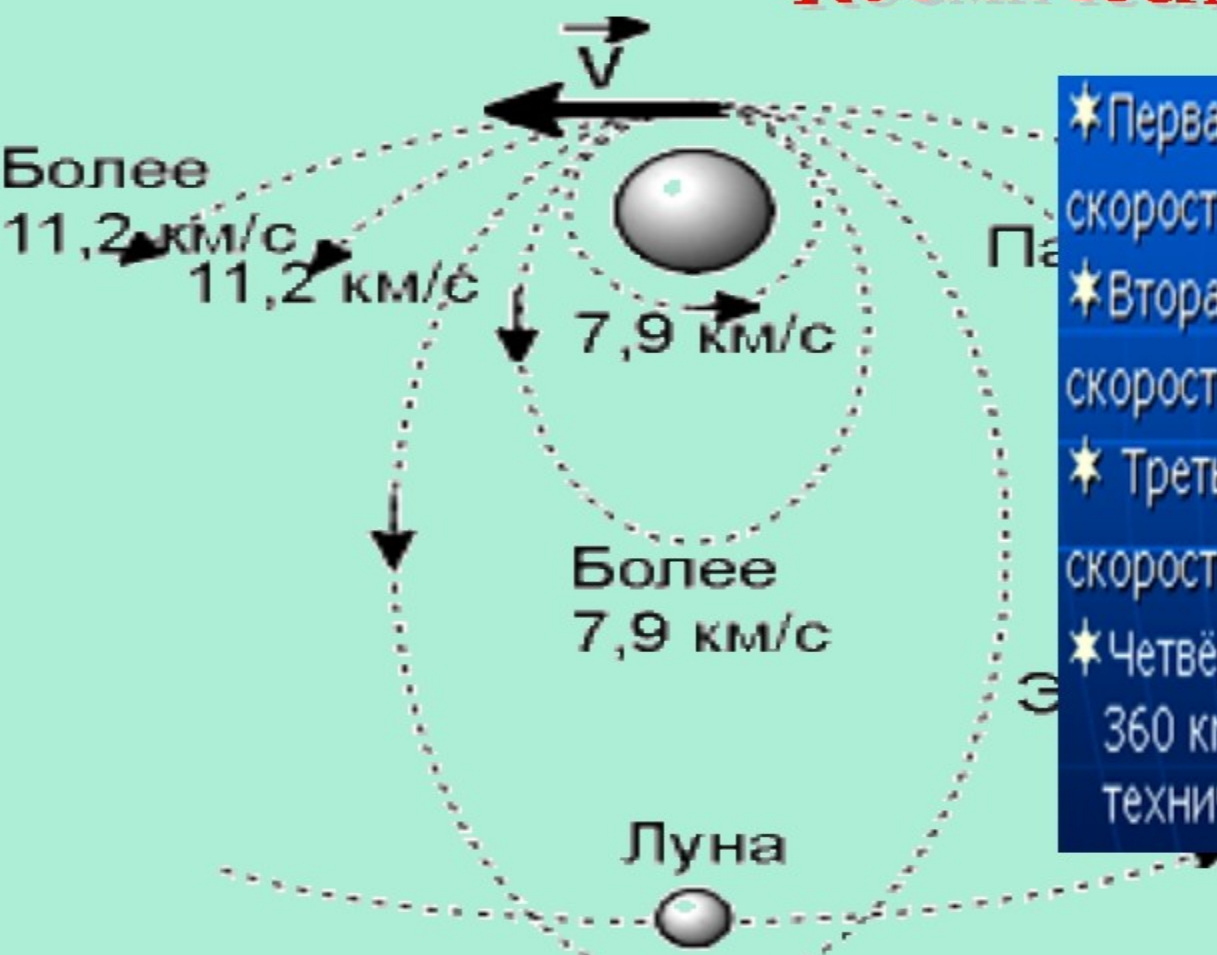
Рис.2.4 Интегральная структура мироздания



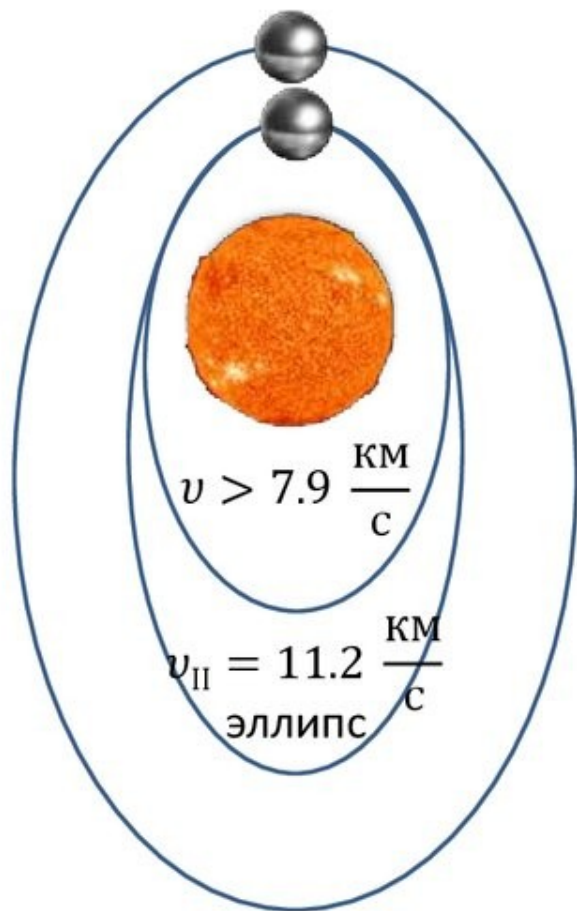
4

Под действием гравитации одно небесное тело может двигаться относительно другого по круговой, эллиптической, параболической и гиперболической орбитам.

Космические скорости



- ★ Первая космическая скорость: 7,9 км/с.
- ★ Вторая космическая скорость: 11,2 км/с
- ★ Третья космическая скорость: 16,7 км/с
- ★ Четвёртая космическая скорость: 360 км/с, для земной цивилизации пока технически не достижима.



Вторая космическая скорость

$$v_{II} = \sqrt{2gR_3}$$

$$v_{II} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 6.4 \cdot 10^6} \approx 11.2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Тело преодолевает притяжение к Земле и уходит в космическое пространство, становясь спутником Солнца

Третья космическая скорость

Скорость относительно Земли, которую необходимо сообщить ракете, чтобы она навсегда покинула пределы Солнечной системы, называется **третьей космической скоростью**. Она минимальна, если это направление совпадает с направлением орбитального движения Земли вокруг Солнца, и максимальна, когда эти направления противоположны. Орбитальная скорость Земли равна:

$$v_3 = \sqrt{\frac{GM_C}{R_{3C}}} \approx 30 \text{ км/с.}$$

Здесь M_C – масса Солнца, R_{3C} – радиус орбиты Земли. Для полета в бесконечность с орбиты Земли нужна вторая «солнечная» космическая скорость:

$$v_{2C} = \sqrt{\frac{2GM_C}{R_{3C}}} = \sqrt{2}v_3 = 42.1 \text{ км/с.}$$

Дополнительно к скорости Земли ракете нужно сообщить скорость, равную $42 - 30 = 12$ км/с. Ракета при старте с Земли должна набрать скорость

$$v = \sqrt{(11.2)^2 + (12)^2} = 16.4 \text{ км/с.}$$

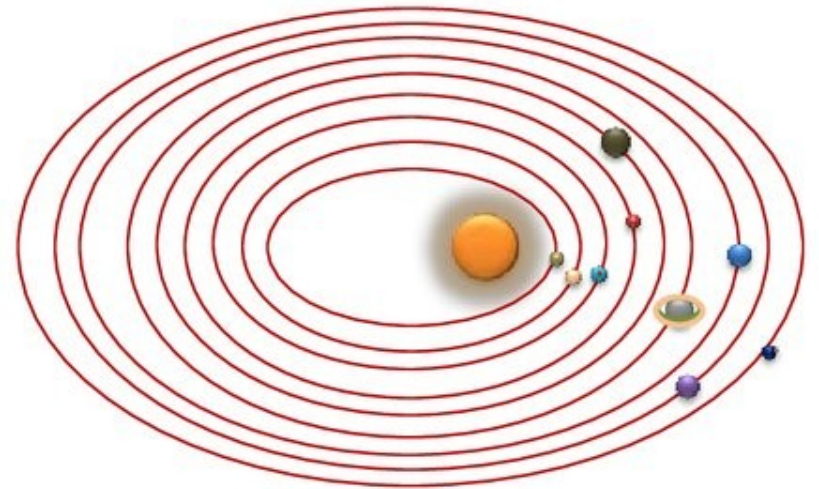
Третья космическая скорость

Третья космическая скорость — это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно смогло покинуть Солнечную систему.

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1)^2 v^2 + v_2^2}$$

Вблизи Земли:

$$v_3 = 16,65 \text{ км/с}$$



Четвертая космическая скорость

Четвертая космическая скорость — это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно смогло покинуть галактику Млечный Путь.

$$v_4 = \sqrt{\varphi}$$

Где φ — гравитационный потенциал.
Гравитационный потенциал может меняться в зависимости от положения в галактике и момента времени.

Вблизи Солнца: $v_4 = 550$ км/с



Движение планет Солнечной системы не в точности подчиняется законам Кеплера из-за их **взаимодействия не только с Солнцем, но и между собой.**

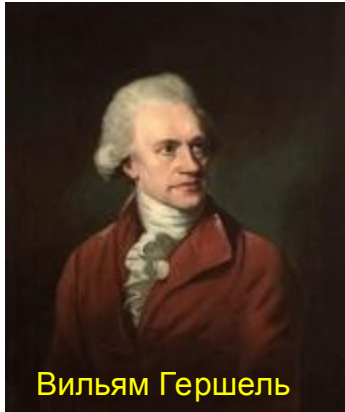
Отклонения тел от движения по эллипсам называют **возмущениями.**

Возмущения невелики, так как масса Солнца гораздо больше массы не только отдельной планеты, но и всех планет в целом.



Особенно заметны отклонения астероидов и комет при их прохождении вблизи Юпитера, масса которого в 300 раз превышает массу Земли.

В XIX в. расчёт возмущений позволил открыть Нептун.



Вильям Гершель

Вильям Гершель в 1781 г. открыл планету **Уран**.

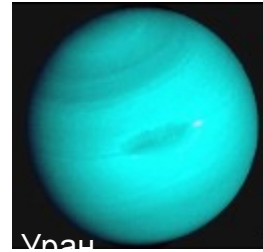
Даже при учете возмущений со стороны всех известных планет наблюдаемое движение Урана не согласовывалось с расчетным.

На основе предположения о наличии еще одной «заурановой» планеты **Джон Адамс** в Англии и **Урбен Леверье** во Франции независимо друг от друга сделали вычисления ее орбиты и положения на небе.

На основе расчетов Леверье немецкий астроном **Иоганн Галле** 23 сентября 1846 г. обнаружил в созвездии Водолея неизвестную ранее планету – **Нептун**.

По возмущениям Урана и Нептуна была предсказана, а в 1930 году и обнаружена карликовая планета **Плутон**.

Открытие Нептуна стало триумфом гелиоцентрической системы, подтверждением справедливости закона всемирного тяготения.



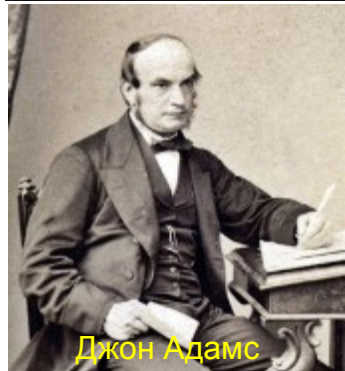
Уран



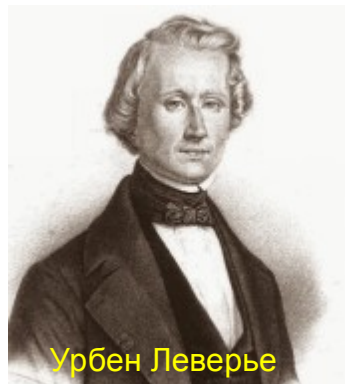
Нептун



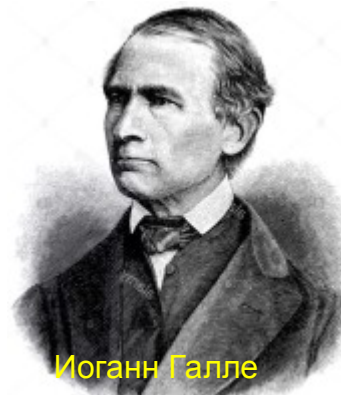
Плутон



Джон Адамс



Урбен Леверье



Иоганн Галле