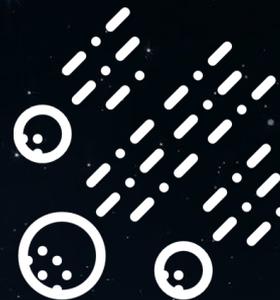


A composite image of the solar system. In the upper right, a large portion of Earth is visible, showing the African continent and surrounding oceans. In the upper left, Saturn is shown with its prominent rings. In the lower right, the reddish-orange surface of Mars is visible, showing various craters and geological features. The background is a dark space filled with numerous small white stars.

# Законы движения планет Солнечной системы

Строение Солнечной системы

# Сегодня на уроке



1

Познакомимся с формулировками трёх законов Кеплера.

2

Узнаем, какую роль сыграли законы Кеплера для развития астрономии.



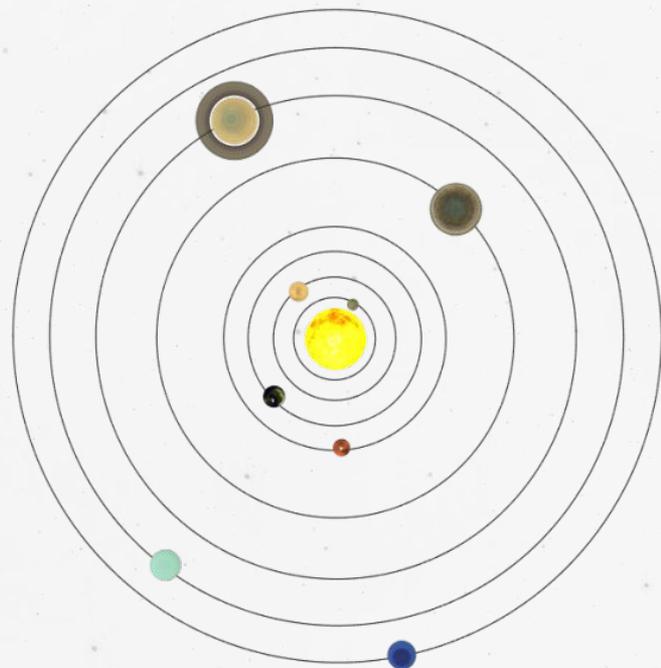
**Николай Коперник**

1473—1543



**Небесные сферы в рукописи Коперника**

Движение небесных тел — это  
равномерное движение по  
окружности.



**Галилео Галилей**

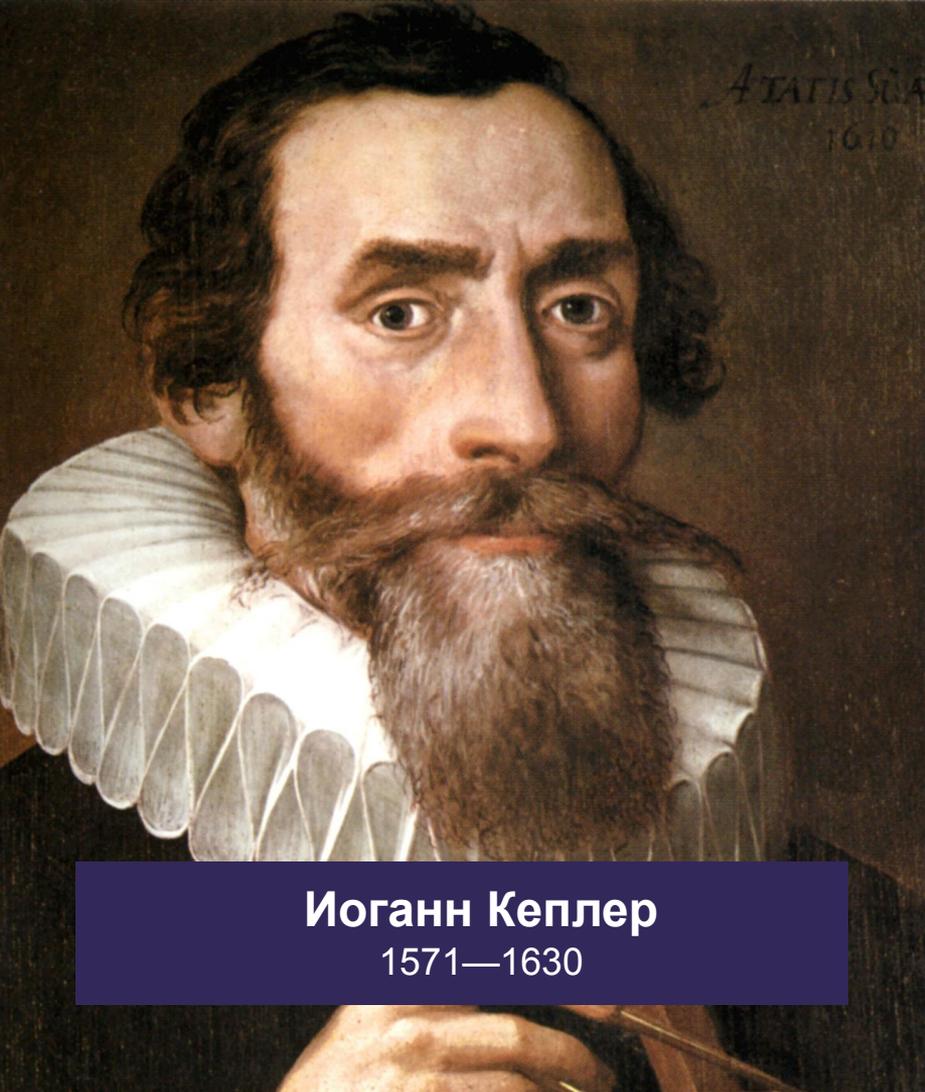
1564—1642



**Венера, Меркурий и  
Луна в вечернем небе**

## Меркурий и Венера в вечернем небе



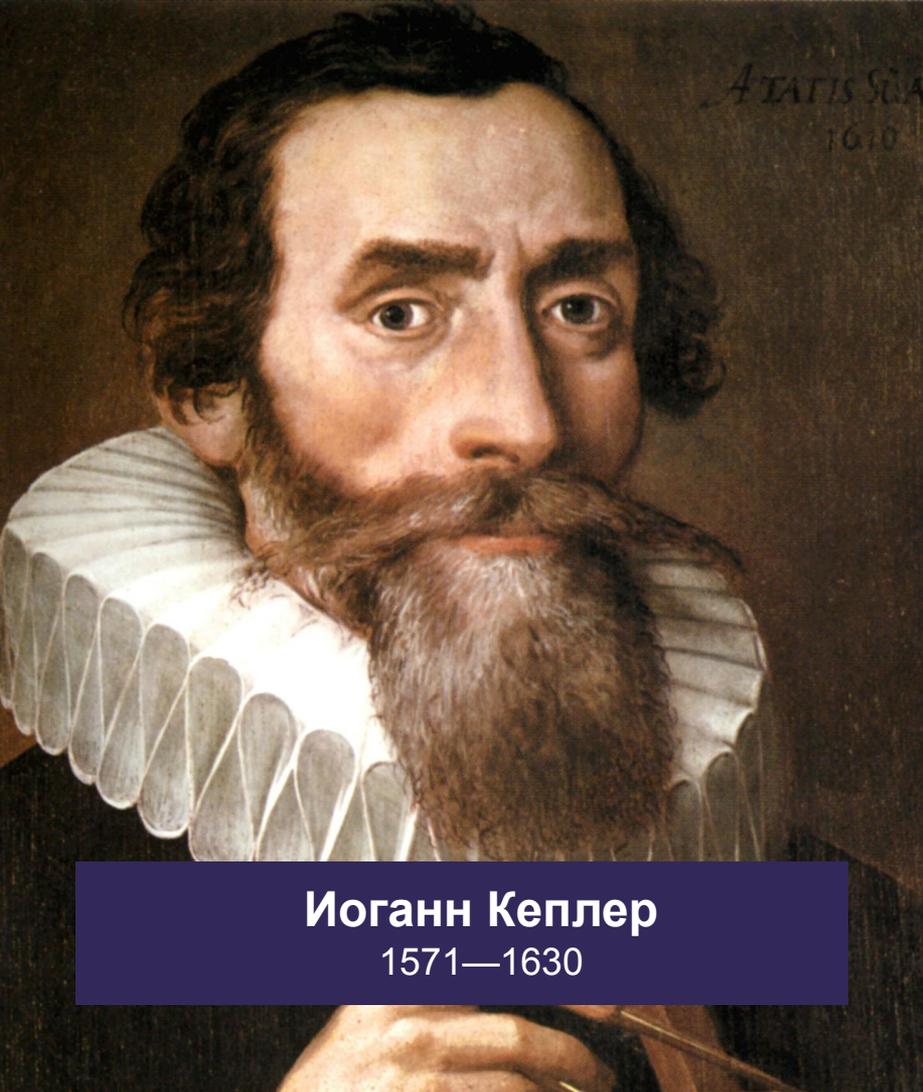


**Иоганн Кеплер**

1571—1630

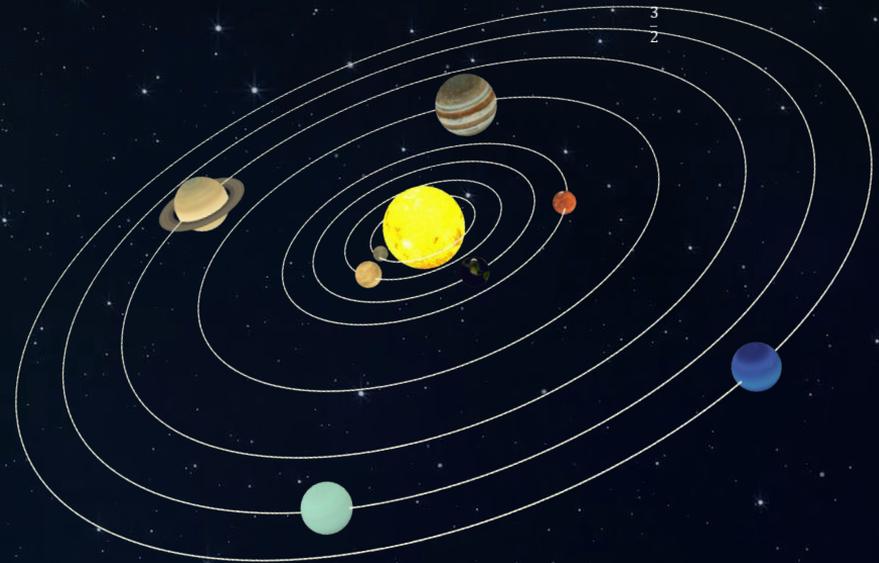
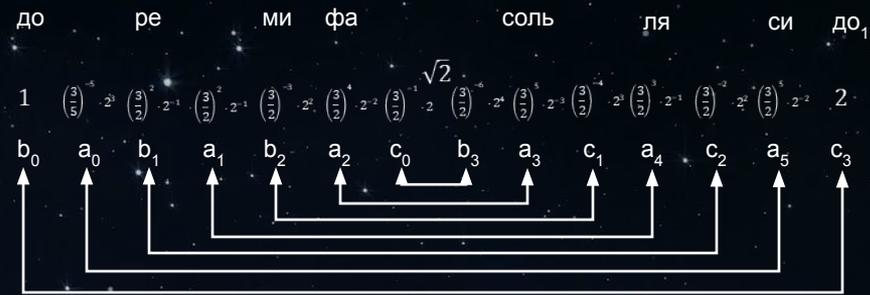
В мире правит число!

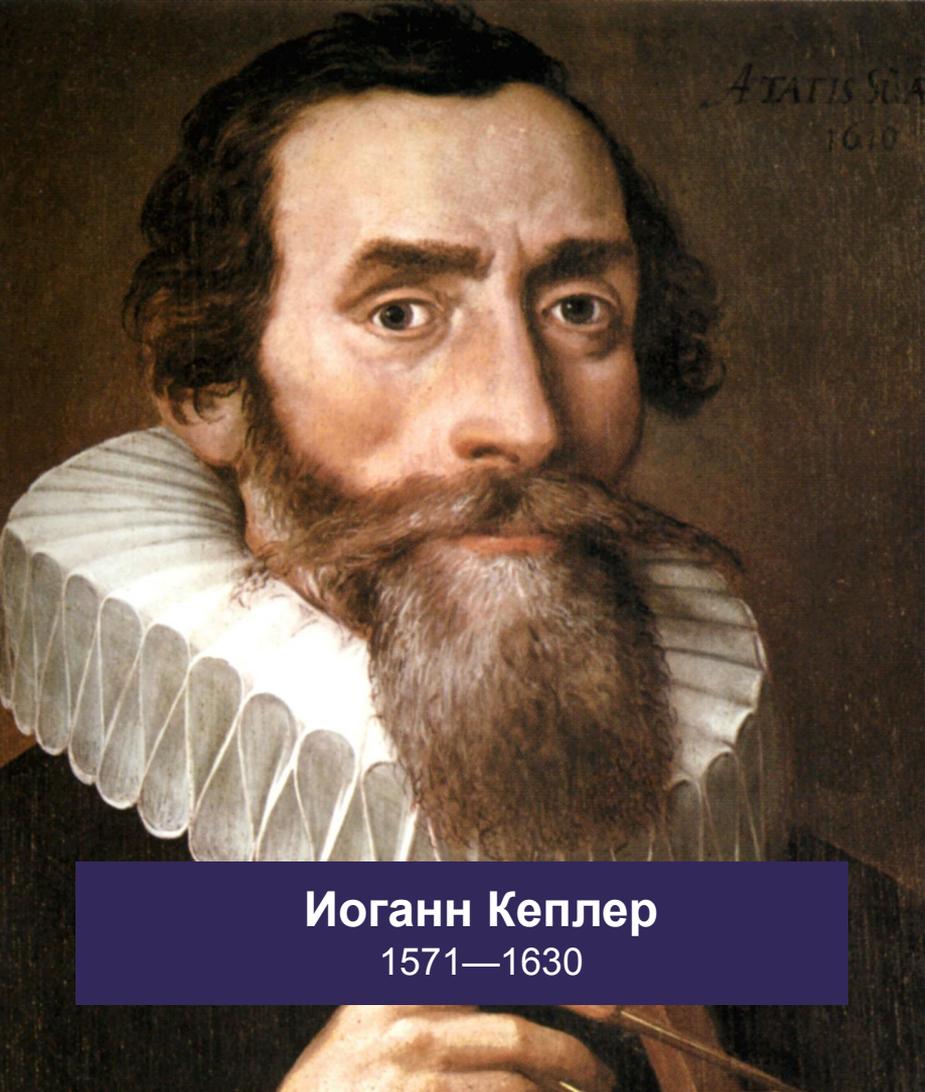




ATATIS SVA  
1610

**Иоганн Кеплер**  
1571—1630

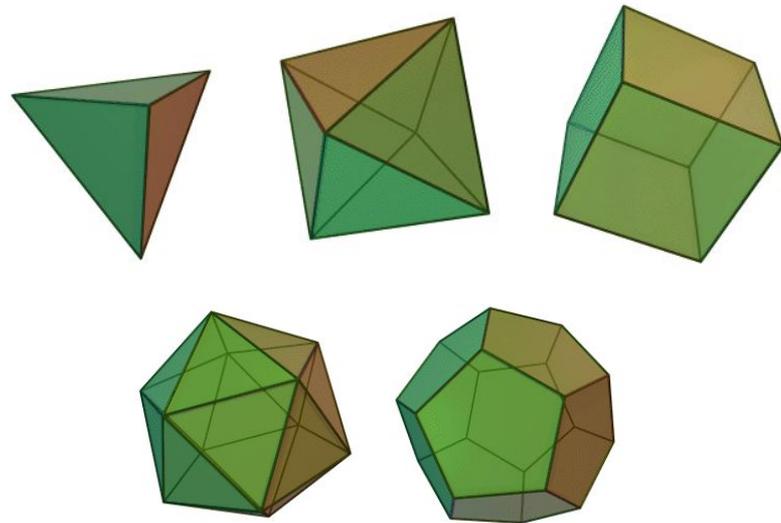


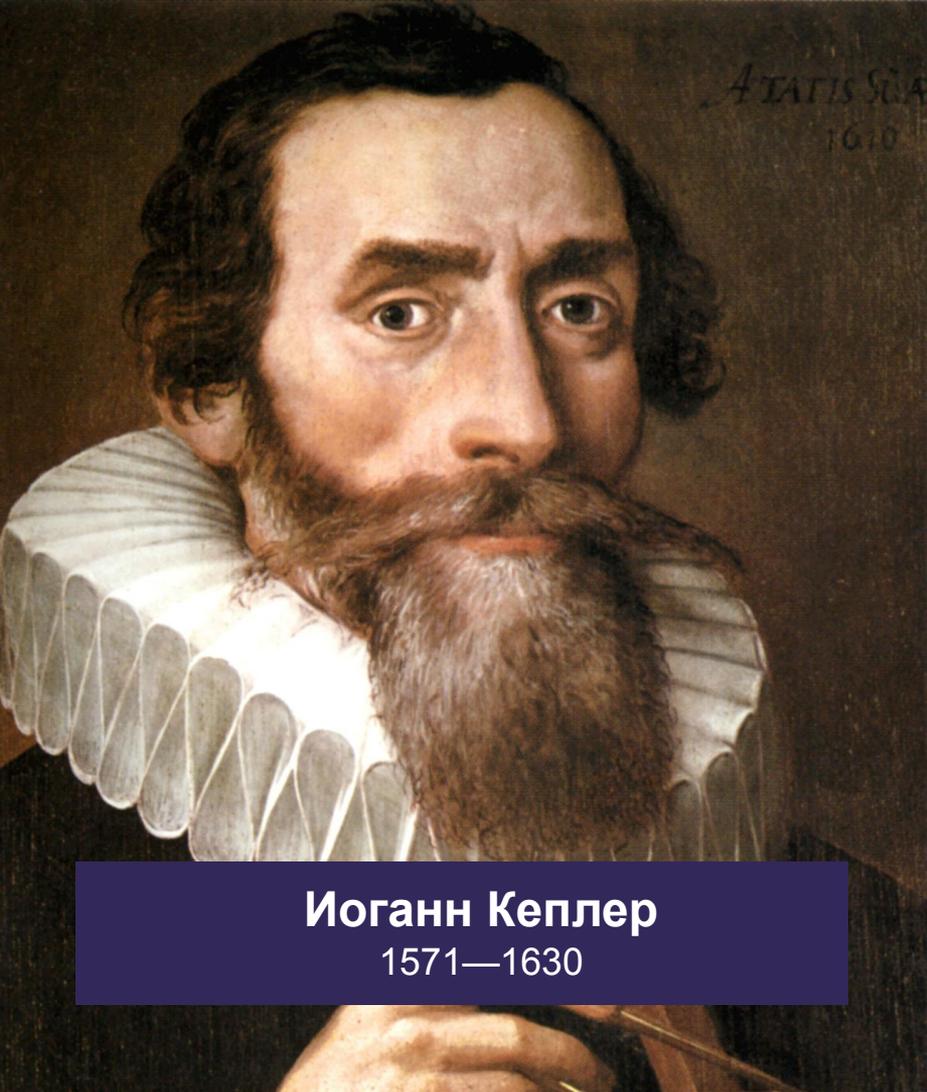


**Иоганн Кеплер**

1571—1630

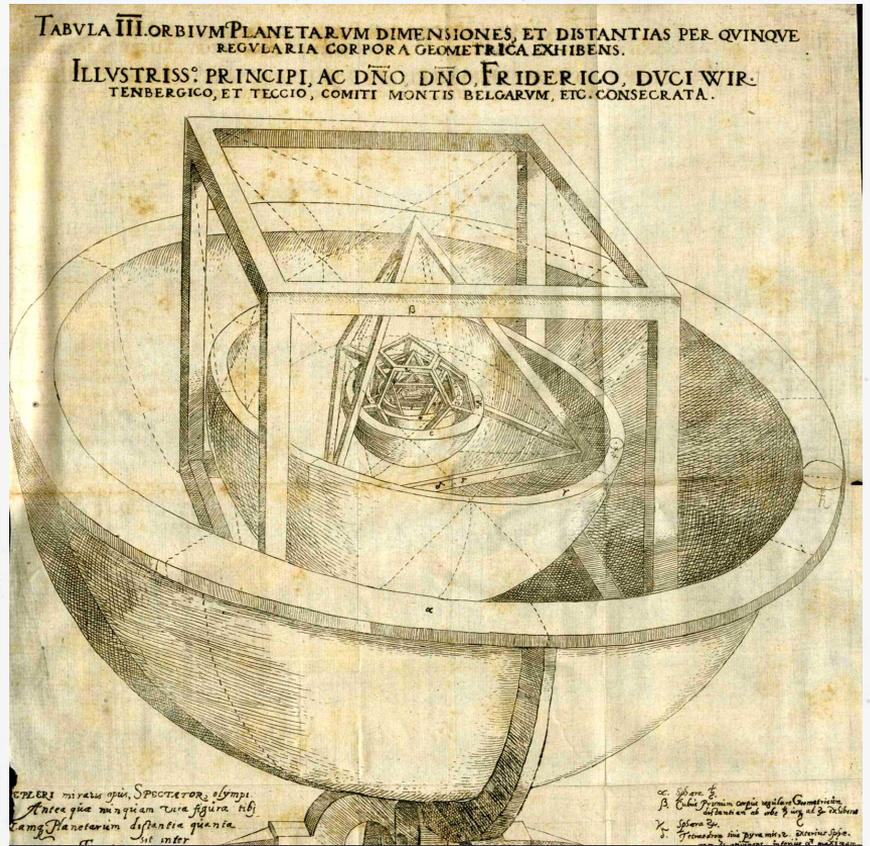
«В геометрии имеются пять евклидовых тел, совершеннейший род фигур после сферы. По их образцу и прообразу устроена наша планетная система».



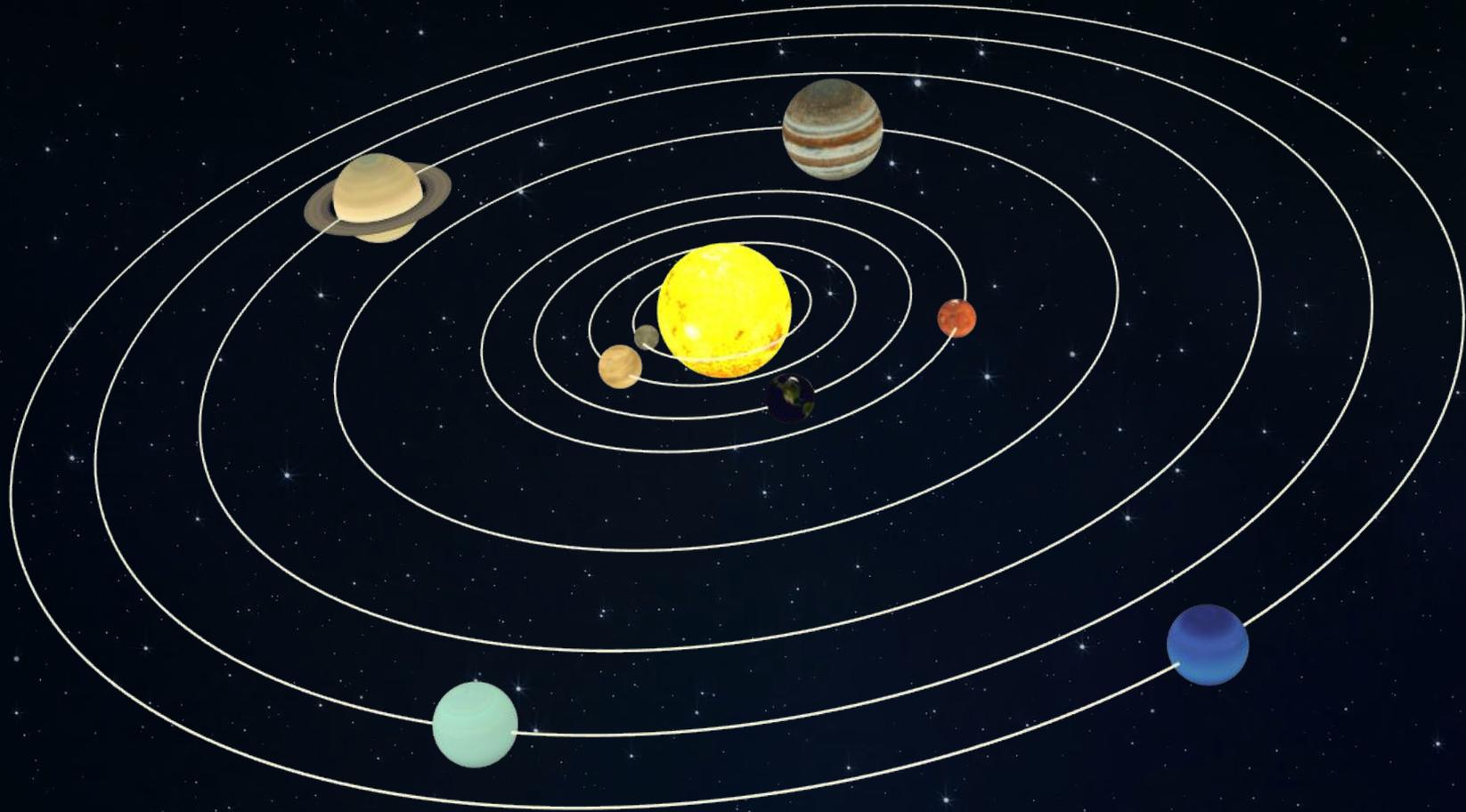


Иоганн Кеплер

1571—1630



«Кубок Кеплера»

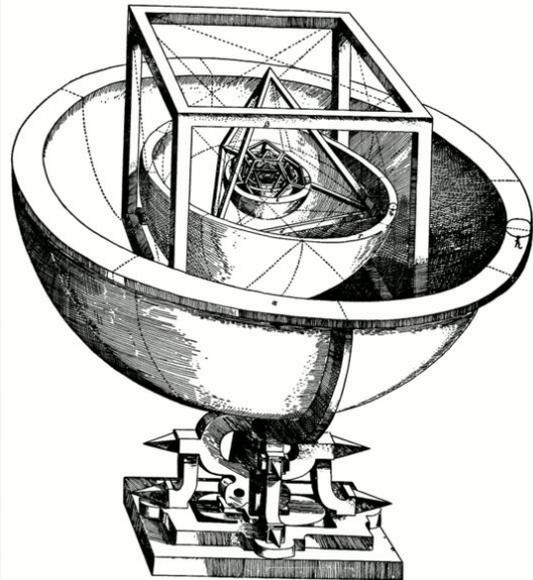




**Джон Холдейн**

1892—1964

«Идея Вселенной как геометрически совершенного произведения искусства оказалась ещё одной прекрасной гипотезой, разрушенной уродливыми фактами».





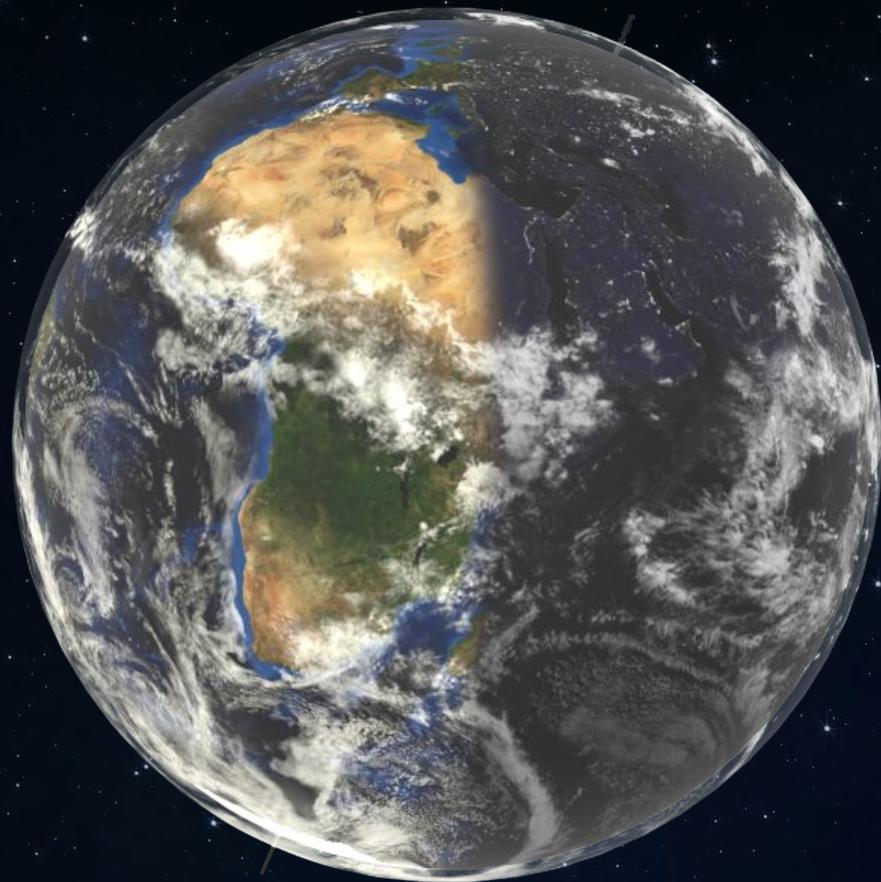
**Памятник Кеплеру и  
Тихо Браге, Прага**

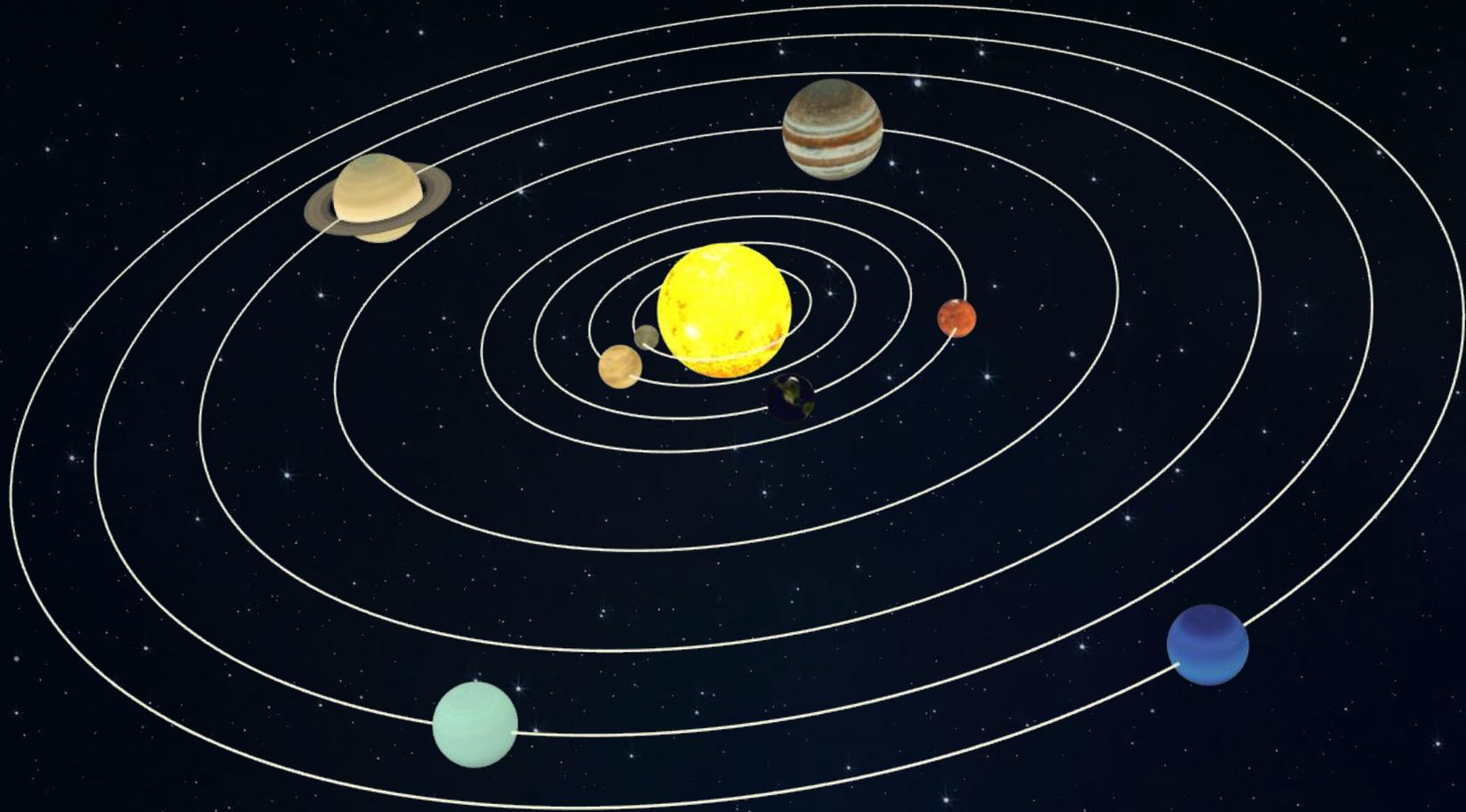
	Longit. Sagit.	Latit.
Ex Hibernia (prope Scyptontu apes)	15. 4	19. 49. 1/2
Prope Italia	15. 26	20. 21. 1/2
Proxima	15. 22	19. 49. 1/2
Tibia	15. 43	20. 21. 1/2
Digiti	14. 10	19. 49. 1/2
Dorsi	14. 10	19. 49. 1/2
Palmae clava	14. 10	19. 49. 1/2
Tota	15. 26	20. 21. 1/2
Caeca Tota	15. 40	20. 21. 1/2
Quotum in formam in Rhombo ad hoc	15. 8	19. 49. 1/2
Medianum prope	15. 10	19. 49. 1/2
Posterior	15. 10	19. 49. 1/2
Anterior	15. 10	19. 49. 1/2
Dorsum parvarum supra caudam, superior	15. 49	19. 49. 1/2
Inferior	15. 49	19. 49. 1/2
Intra caudam clava	15. 10	19. 49. 1/2
Post pedem dextram, facia nova	15. 10	19. 49. 1/2
Tantum minimarum in eadem ultimam & penultimam cauda Serpentis	15. 10	19. 49. 1/2
precedens	15. 10	19. 49. 1/2
Media	15. 10	19. 49. 1/2
Postrema	15. 10	19. 49. 1/2
Proxima intra ultimam, infer.	15. 10	19. 49. 1/2
Caetera Signa	15. 10	19. 49. 1/2

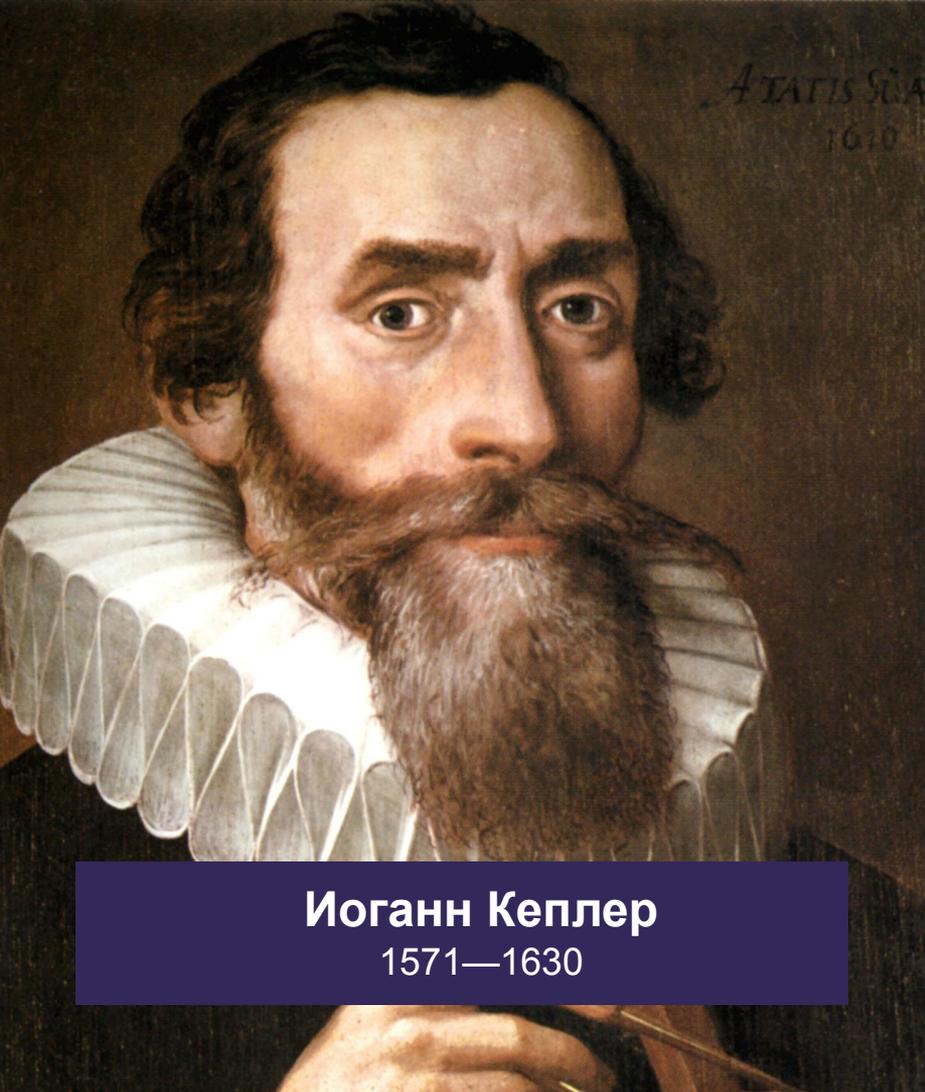
Hac referentiam ex Capro, Signo \*\*\* in qua. Et sic  
 notat, EC. Eclipticam in Capro, Signo \*\*\* in qua. Et sic  
 R. Novam: hoc dixerunt, ut a Capro, circuli circuli dixerunt  
 tunc est Serpens conjunctum die 7 Decembris anni 1604, ut  
 centum Serpens, Jovis & Martis die 10. Sept. vel 10. Oct. ut  
 Prae primo in visa est Nova stella. Reliqua vero et  
 pauli supra sunt explicatae. Stellarum vero caeterarum  
 ex imaginum membris, quibus inhaerent.



Книга Кеплера  
 «De Stella Nova», 1604 г.







**Иоганн Кеплер**

1571—1630

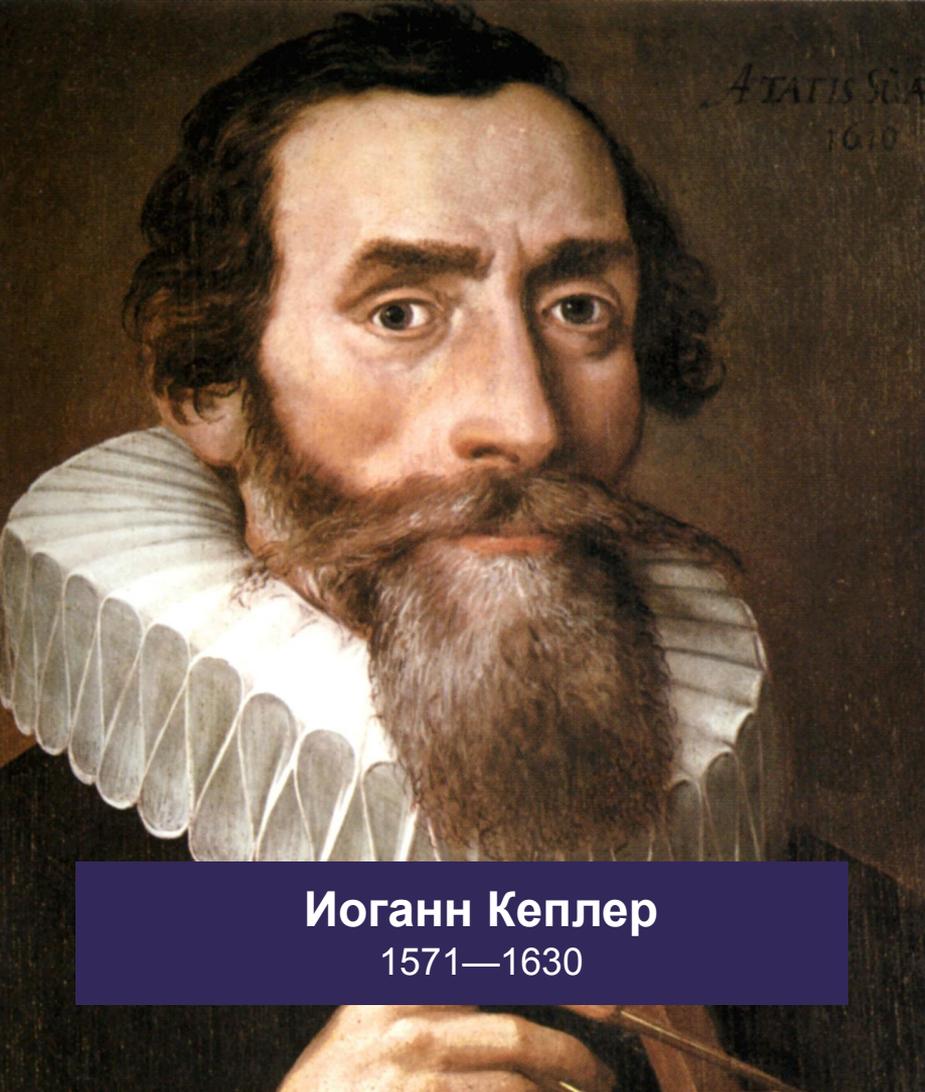
Как по данным наблюдений  
определить орбиту и скорость  
движения других планет?





## Модель Sunway TaihuLight —

самый производительный суперкомпьютер в мире по состоянию на ноябрь 2016 г.



**Иоганн Кеплер**

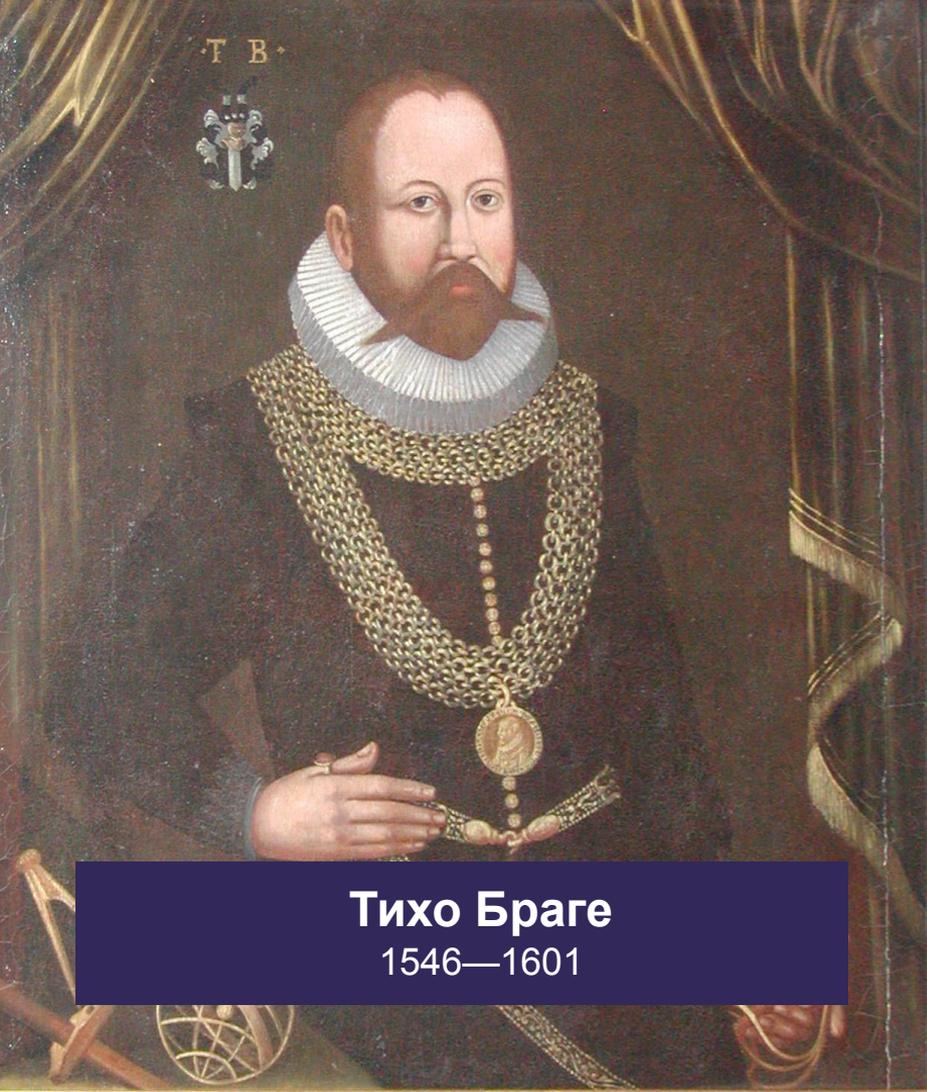
1571—1630

Как по данным наблюдений  
определить орбиту и скорость  
движения других планет?

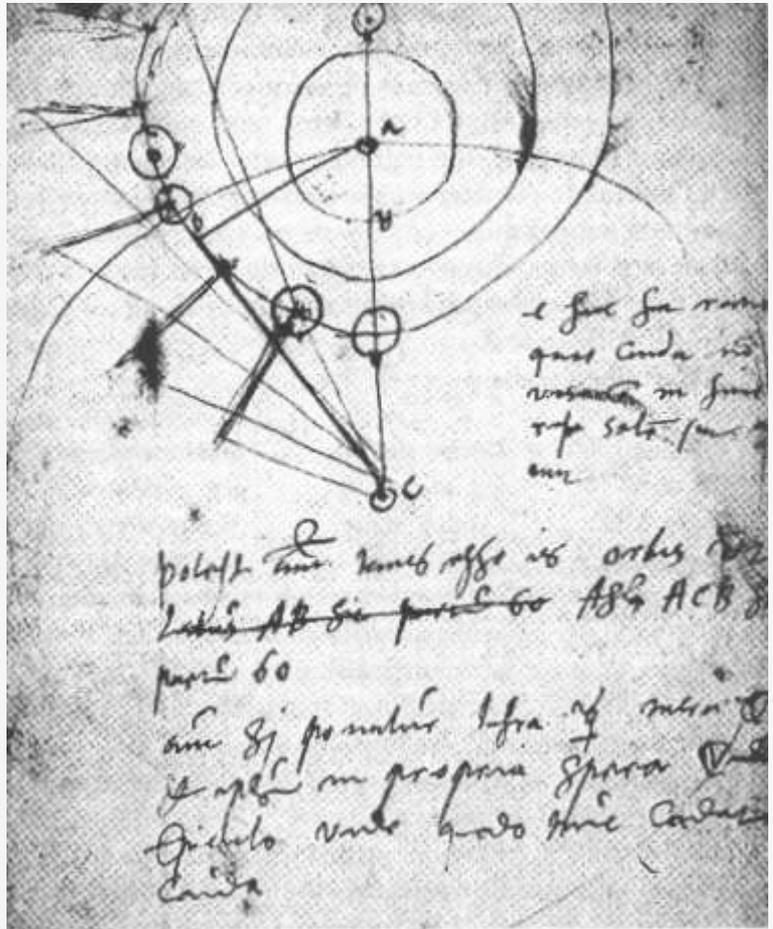


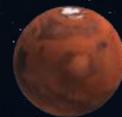
Марс





**Тихо Браге**  
1546—1601





# Законы Кеплера

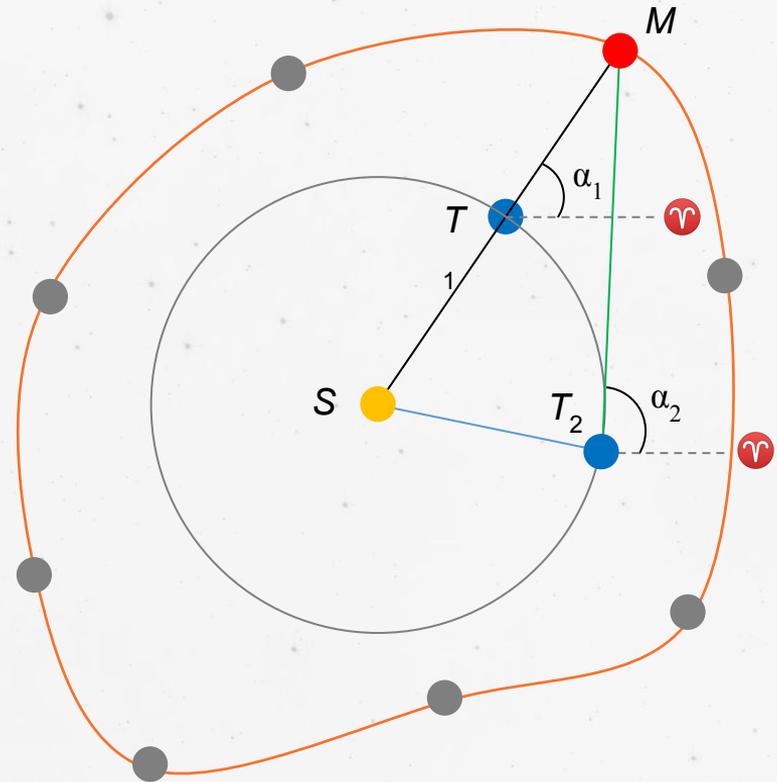
$S$  — Солнце.

$M$  — Марс.

$T_1$  — Земля в момент  
противостояния с Марсом.

Сидерический период Марса равен  
686,98 сут.

Сидерический период Земли равен  
365,26 сут.



# Законы Кеплера

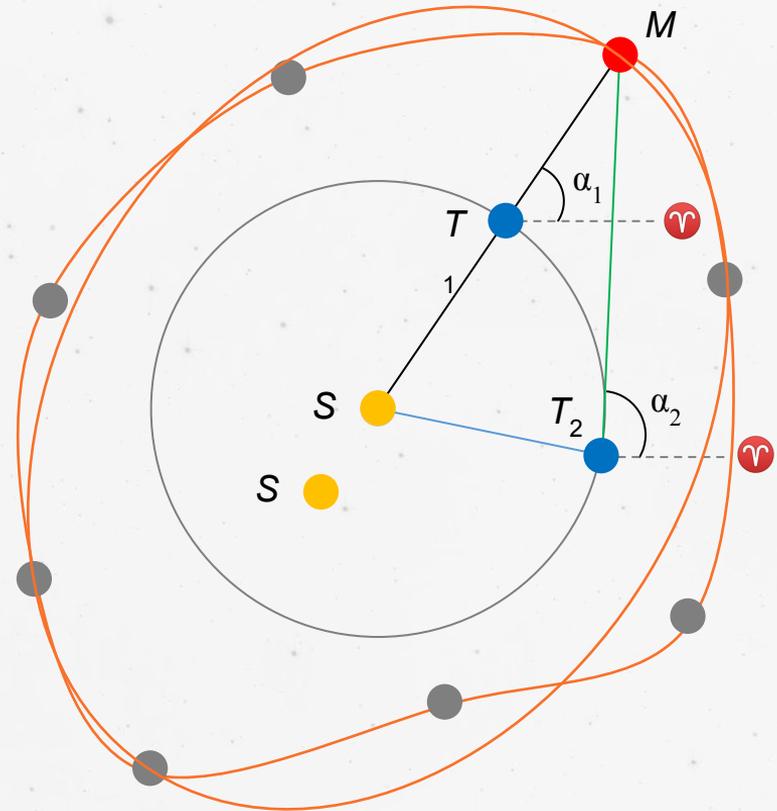
Возможные решения проблемы:

1. Орбита планеты является окружностью.

Вычисленные координаты Марса расходятся с наблюдением.

2. Орбита планеты действительно не является круговой.

Все наблюдения являются правильными.



# Законы Кеплера

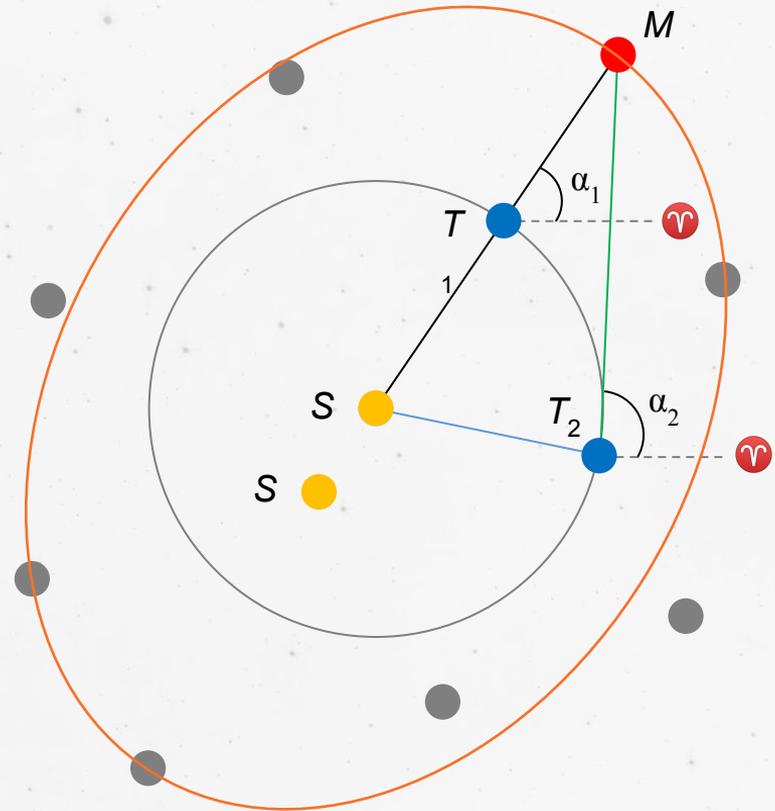
Возможные решения проблемы:

1) Орбита планеты является окружностью.

Вычисленные координаты Марса расходятся с наблюдением.

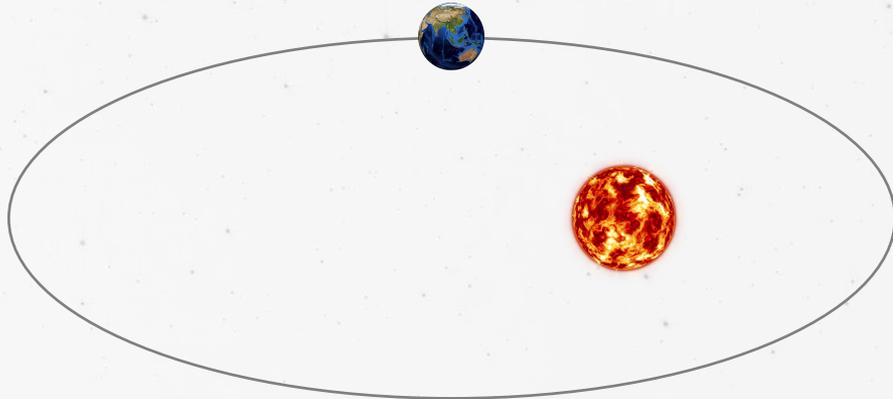
2) Орбита планеты действительно не является круговой

Все наблюдения являются правильными.



# Первый закон Кеплера

Все планеты обращаются по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

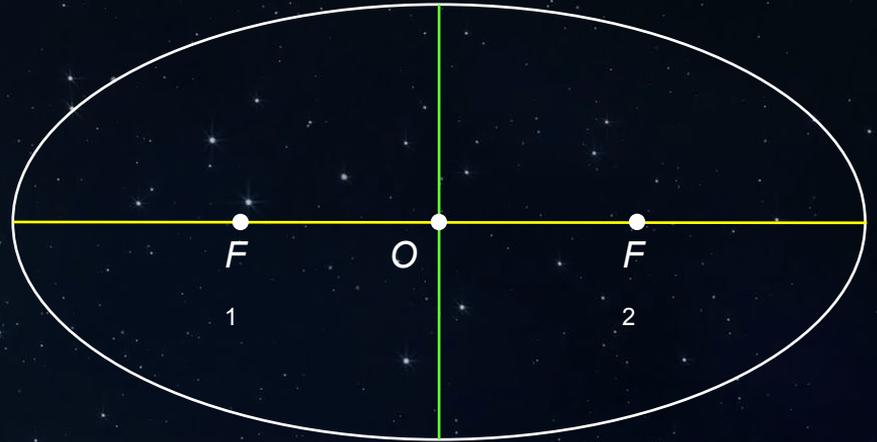


И. Кеплер

# Законы Кеплера

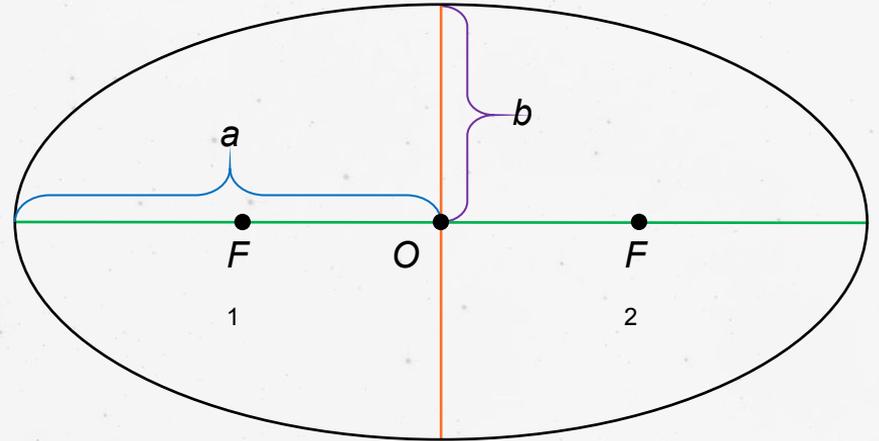
Проходящий через фокусы эллипса отрезок, концы которого лежат на эллипсе, называется его **большой осью**.

Отрезок, проходящий через центр эллипса перпендикулярно большой оси, называется **малой осью эллипса**.



# Законы Кеплера

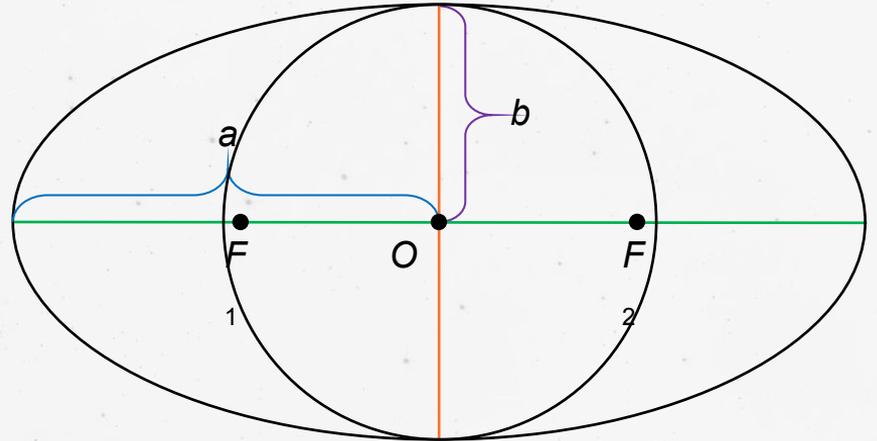
Отрезки, проведённые из центра эллипса к вершинам на большой и малой осях, называются **большой и малой полуосями** эллипса.



# Законы Кеплера

Эксцентриситет —  
числовая характеристика эллипса,  
показывающая степень его  
отклонения от окружности.

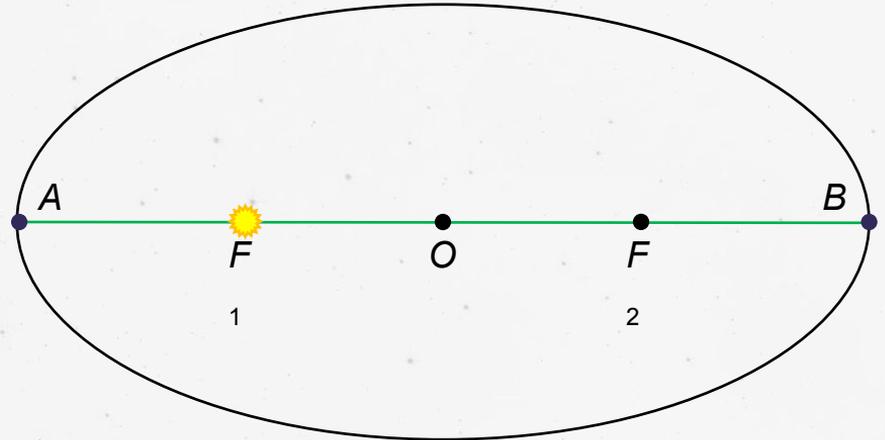
$$e = \frac{F_1F_2}{2a} = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a}$$



# Законы Кеплера

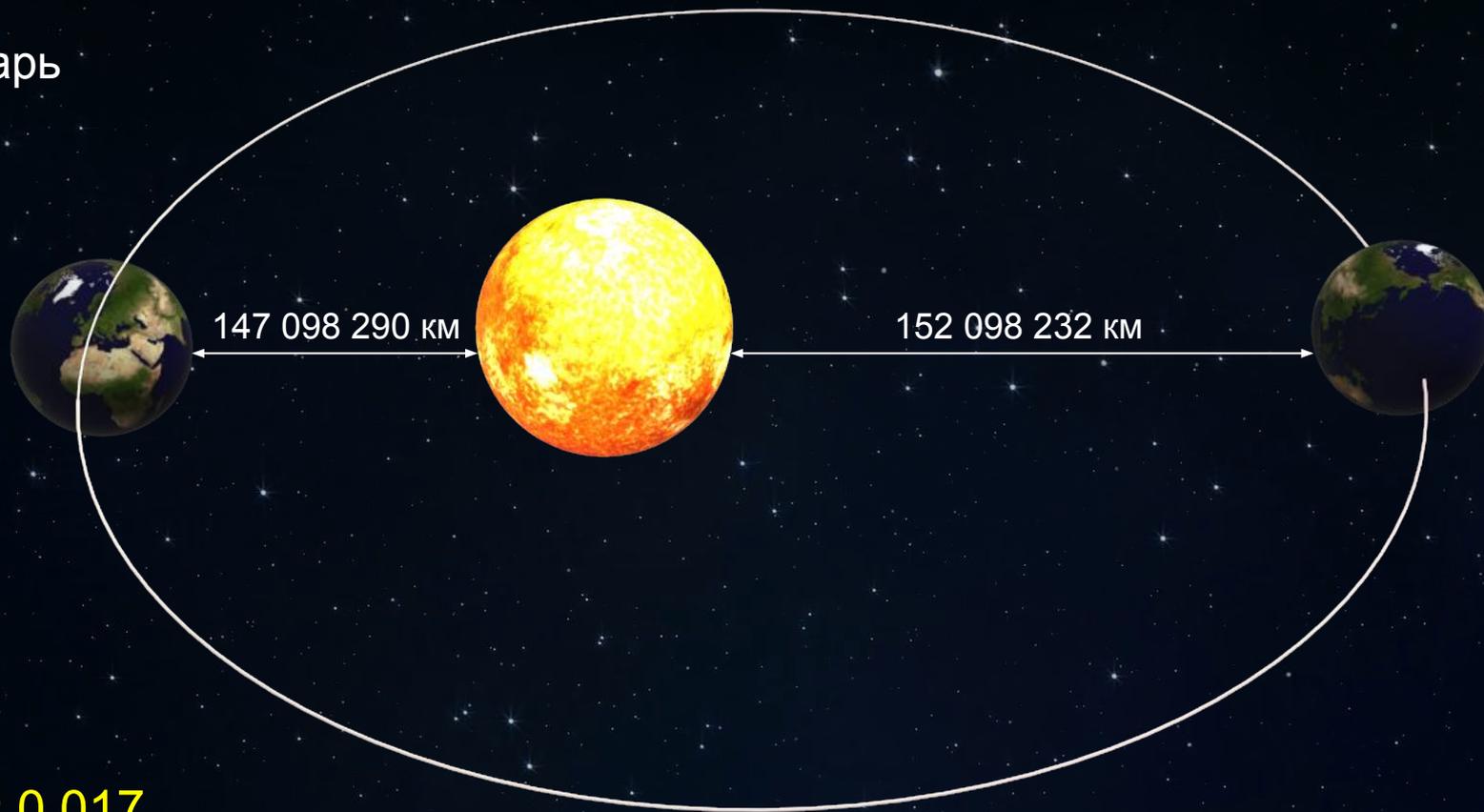
**Перигелий** —  
ближайшая к Солнцу точка орбиты  
планеты.

**Афелий** —  
наиболее удалённая от Солнца точка  
орбиты планеты.

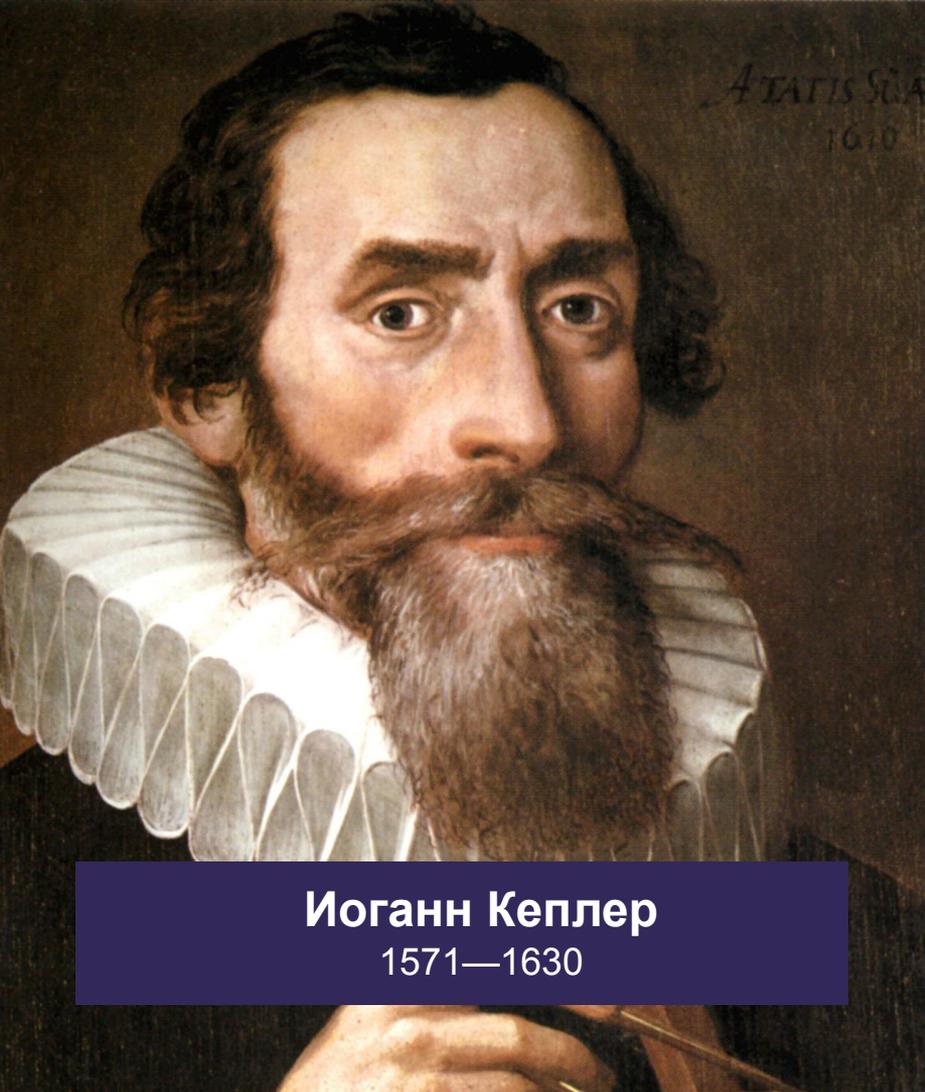


Январь

Июль

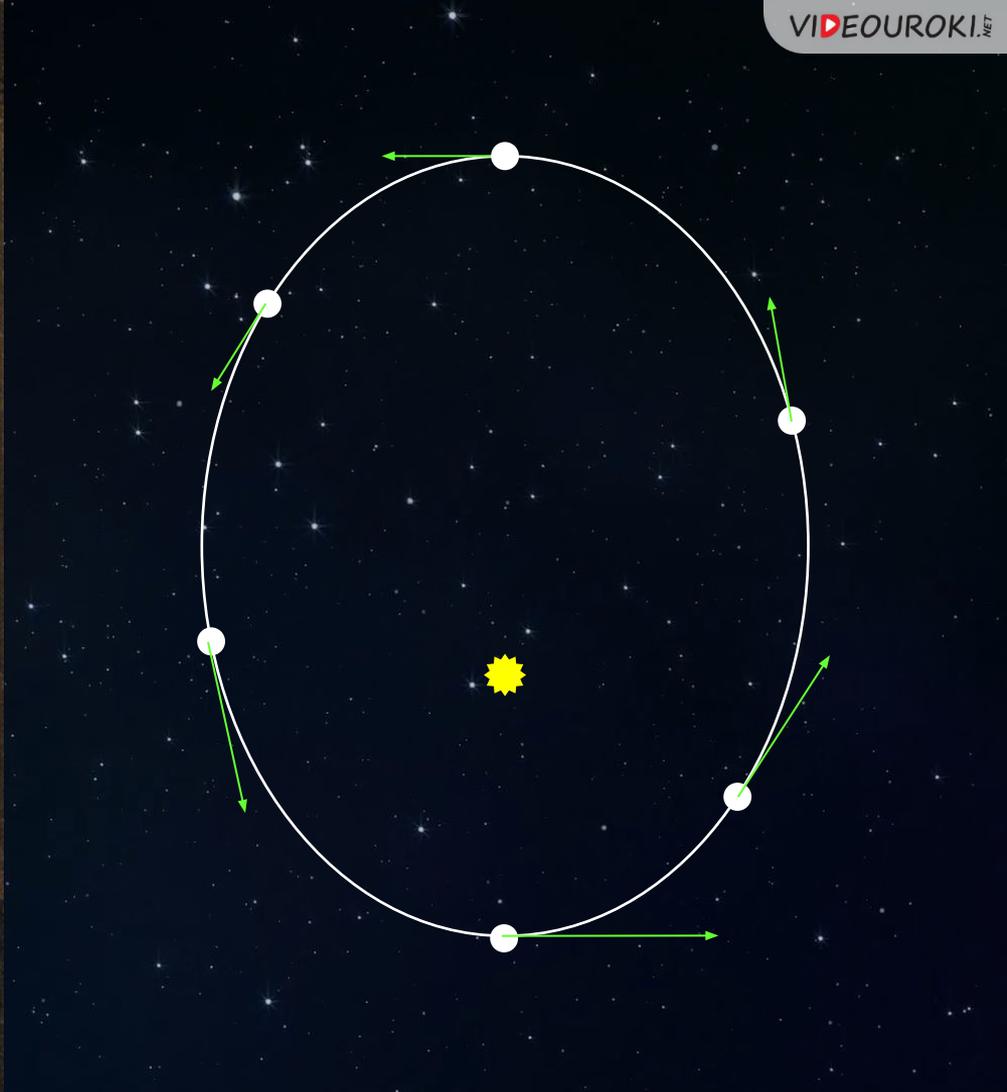


$$e_{\oplus} = 0,017$$



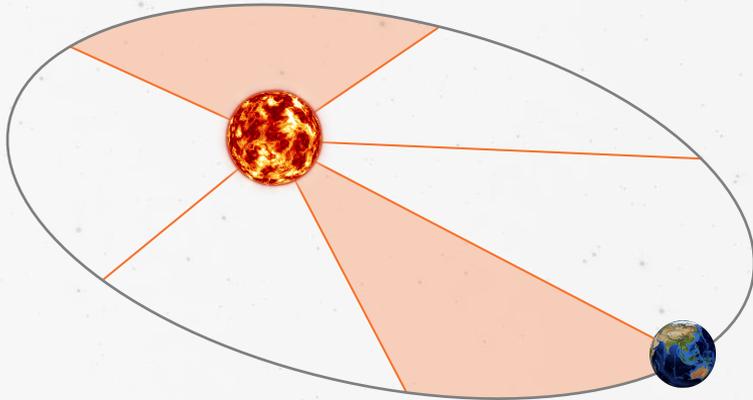
**Иоганн Кеплер**

1571—1630



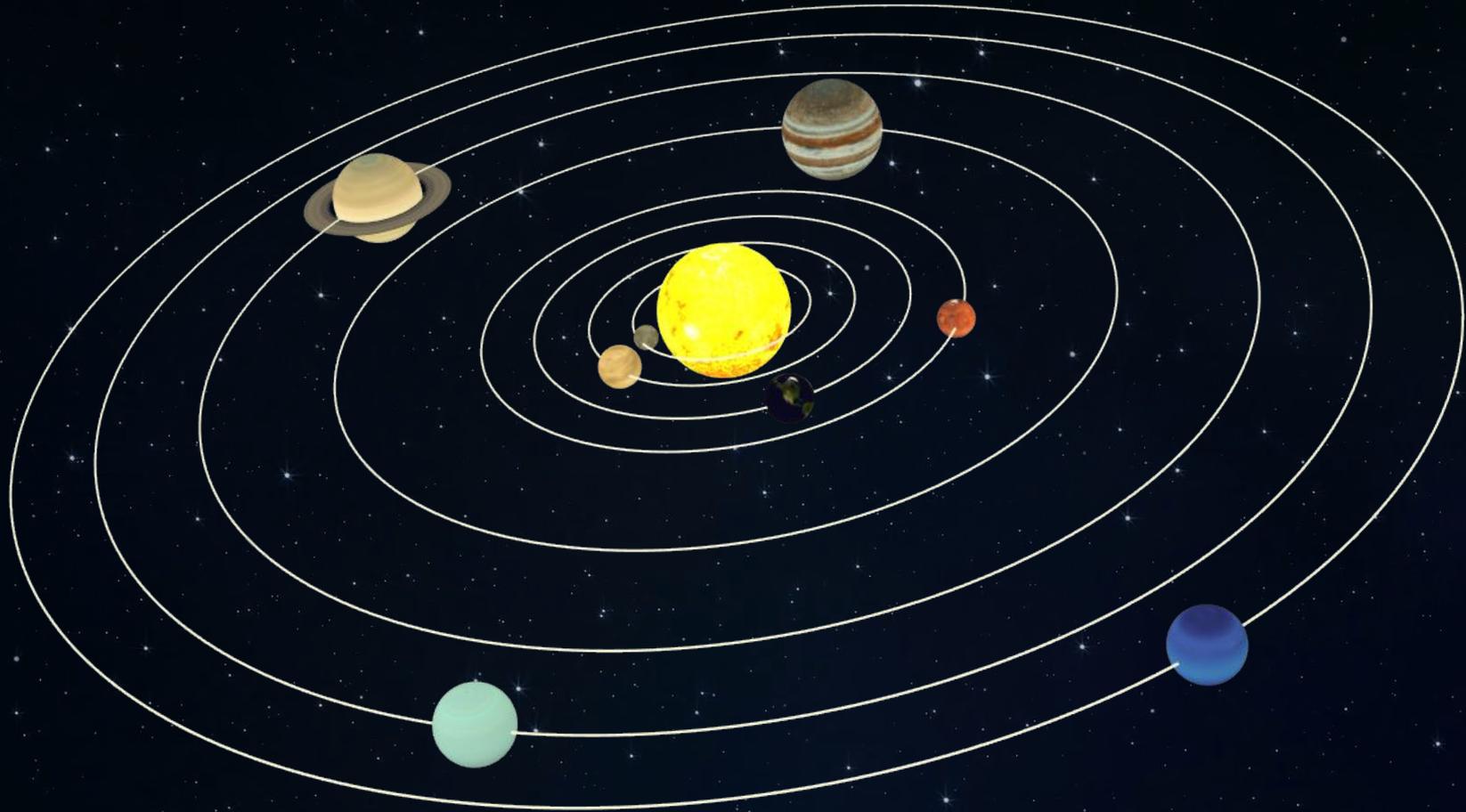
## Второй закон Кеплера

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



И. Кеплер





# Законы Кеплера

Закон сохранения энергии:  
полная механическая энергия  
замкнутой системы тел, между  
которыми действуют силы тяготения,  
остаётся неизменной при любых  
движениях тел этой системы.

$$W = W_K + W_{\Pi}$$

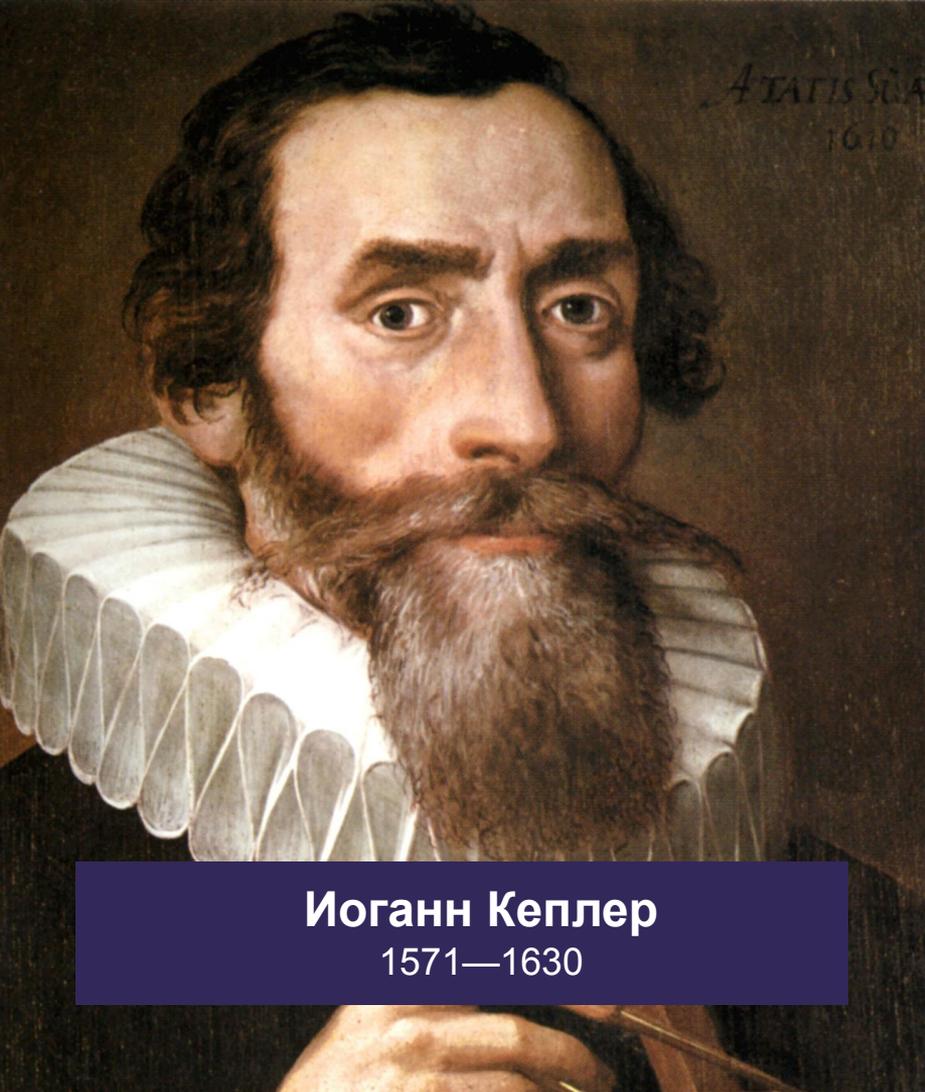


$W_{\Pi}$   $W_K$

# Законы Кеплера

Скорость движения планеты по орбите **меняется**, принимая максимальное значение в перигелии и минимальное в афелии.





Иоганн Кеплер

1571—1630

ASTRONOMIA NOVA  
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,  
SEV  
PHYSICA COELESTIS,  
tradita commentariis  
DE MOTIBVS STELLÆ  
MARTIS,  
Ex observationibus G. V.  
TYCHONIS BRAHE:

Jussu & sumptibus

RVDOLPHI II.  
ROMANORVM  
IMPERATORIS &c:

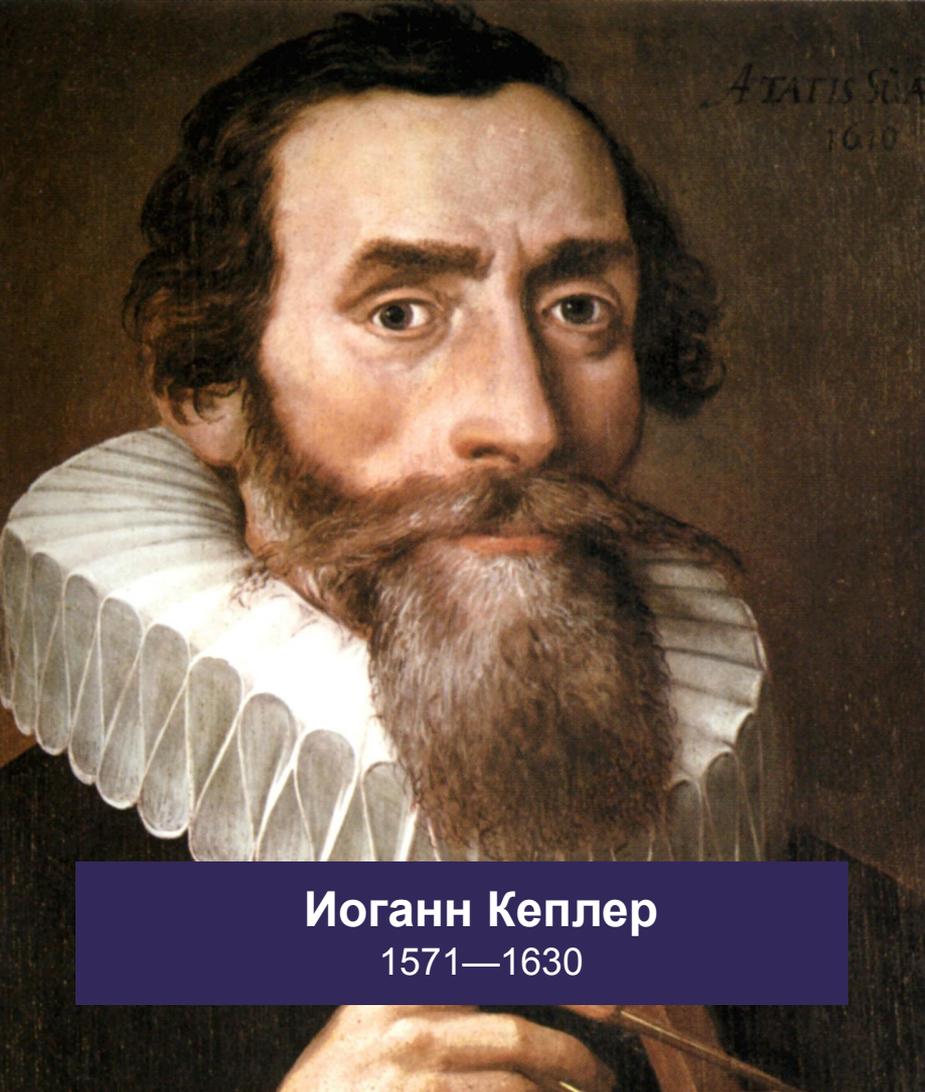
Plurium annorum pertinaci studio  
elaborata Pragæ,

*A S. C. M.™ S. Mathematico*

JOANNE KEPLERO,

*Cum ejusdem C. M.™ privilegio speciali*

ANNO MDCXXXI Dionysianæ clc Io c ix.



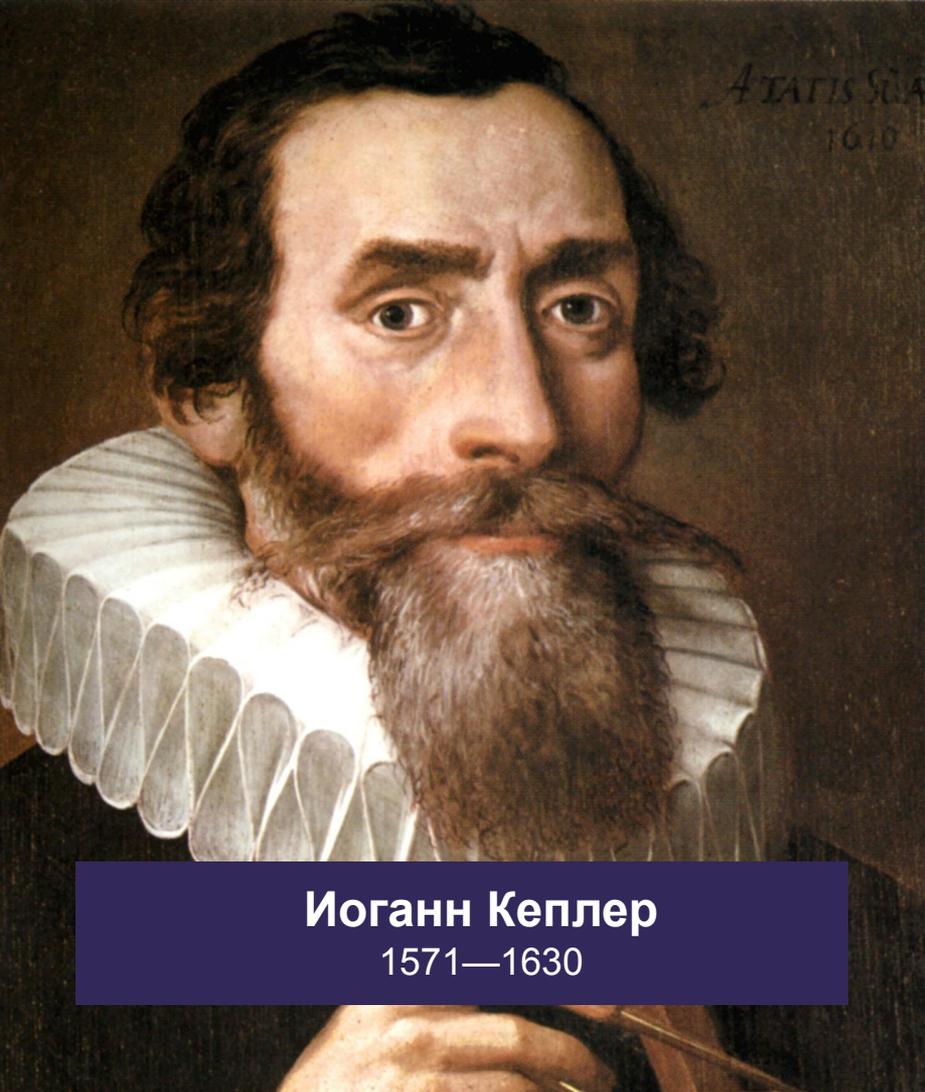
**Иоганн Кеплер**

1571—1630

## Первый закон Кеплера (1609):

все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце.



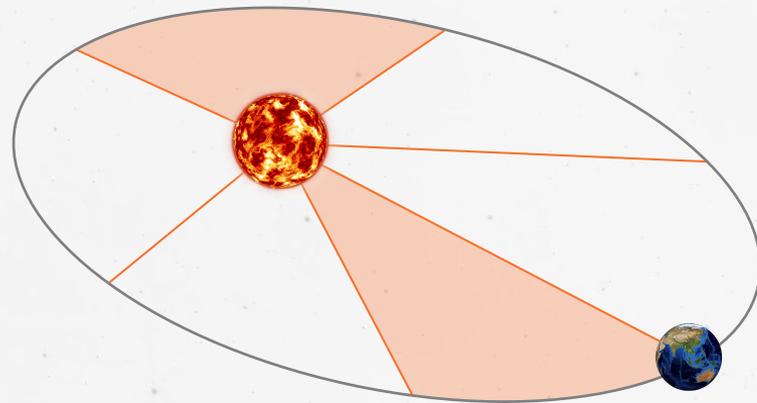


**Иоганн Кеплер**

1571—1630

**Первый закон Кеплера (1605):**  
все планеты обращаются по эллипсам,  
в одном из фокусов которых находится  
Солнце.

**Второй закон Кеплера (1602):**  
радиус-вектор планеты за равные  
промежутки времени описывает  
равновеликие площади.



## Третий закон Кеплера (1618 г.)

Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.



И. Кеплер

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



«То, что 16 лет тому назад я решил  
искать, <...> наконец найдено, и это  
открытие превзошло все мои самые  
смелые ожидания...»



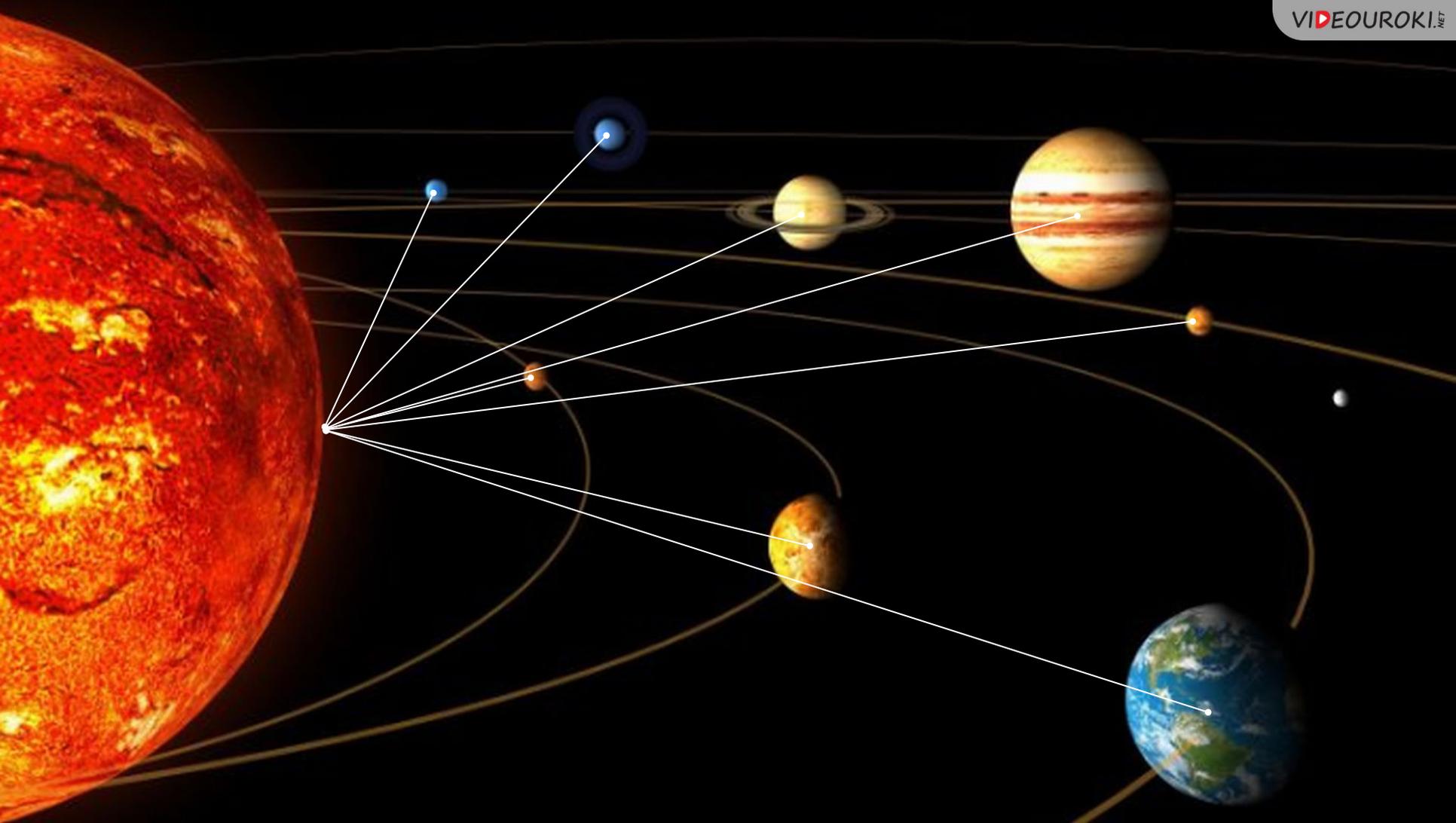
# Третий закон Кеплера

Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.



И. Кеплер

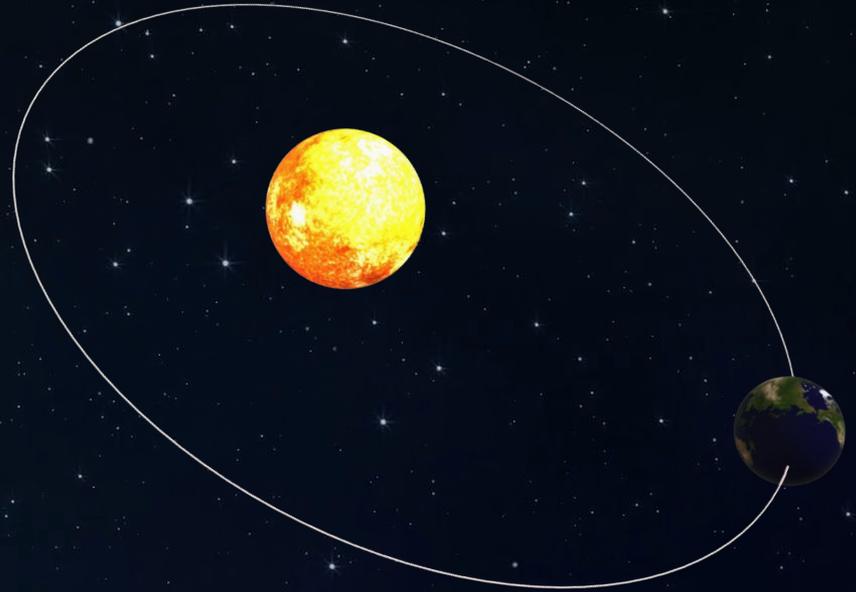
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



# Законы Кеплера

**Астрономическая единица** — единица измерения, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца.

$$1 \text{ а. е.} = 149\,597\,870\,700 \text{ м}$$



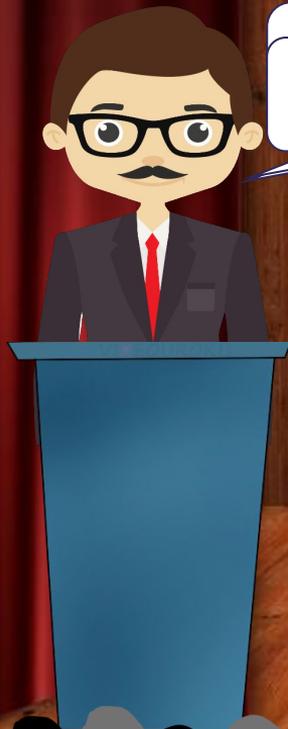


Первый закон Кеплера (1605):  
все планеты движутся по  
эллиптическим орбитам, в одном из  
фокусов которых находится Солнце.

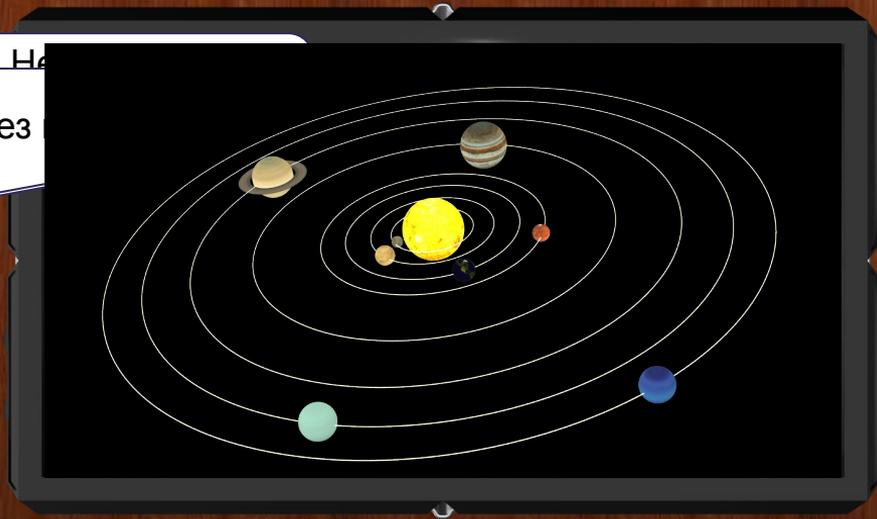
Второй закон Кеплера (1602):  
радиус-вектор планеты описывает в  
равные промежутки времени  
равновеликие площади.

Третий закон Кеплера (1618):  
квадраты периодов обращения планет  
относятся как кубы больших полуосей  
их орбит:

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



На  
Без



И равенство  
площадей  
секторов?

Господин Кеплер, а чем  
обусловлена  
эллиптичность орбит?

А как движутся  
планеты в других  
звёздных системах?

# Законы Ньютона

**Закон всемирного тяготения:** любые два тела притягивают друг друга силами, прямо пропорциональными произведению масс этих тел и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними.

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r}$$

**Закон сохранения момента импульса:** момент импульса замкнутой системы тел относительно любой неподвижной точки не изменяется с течением времени.

$$\begin{aligned} \vec{L} &= \vec{r} \times \vec{p} = \\ &= \overrightarrow{const} \end{aligned}$$

**Задача.** Определите период обращения астероида Россия, если большая полуось его орбиты равна  $2,55 \text{ а. е.}$

**ДАНО**

$$a = 2,55 \text{ а. е.}$$

$$a_{\oplus} = 1 \text{ а. е.}$$

$$T_{\oplus} = 1 \text{ год}$$

$$T = ?$$

**РЕШЕНИЕ**

Третий закон Кеплера: 
$$\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}.$$

Так как  $a_{\oplus} = 1 \text{ а. е.}$ , а  $T_{\oplus} = 1 \text{ год}$ , то  $T^2 = a^3$ .

Период обращения астероида: 
$$T = \sqrt{a^3} = a\sqrt{a}.$$

$$T = 2,55 \text{ а. е.} \cdot \sqrt{2,55 \text{ а. е.}} \cong 4 \text{ года.}$$

**ОТВЕТ:** период обращения астероида Россия равен 4 годам.

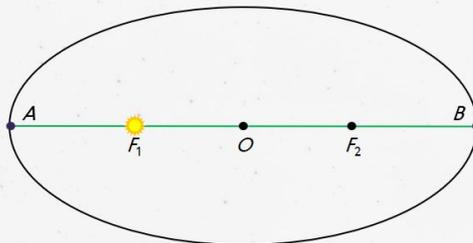


# Выводы

## Законы Кеплера

Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты.

Афелий — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты.




Первый закон Кеплера (1609): все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце.



### Второй закон Кеплера

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



И. Кеплер

### Третий закон Кеплера (1618 г.)

Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.



И. Кеплер

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

### Законы Кеплера

Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты.

Афелий — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты.

