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

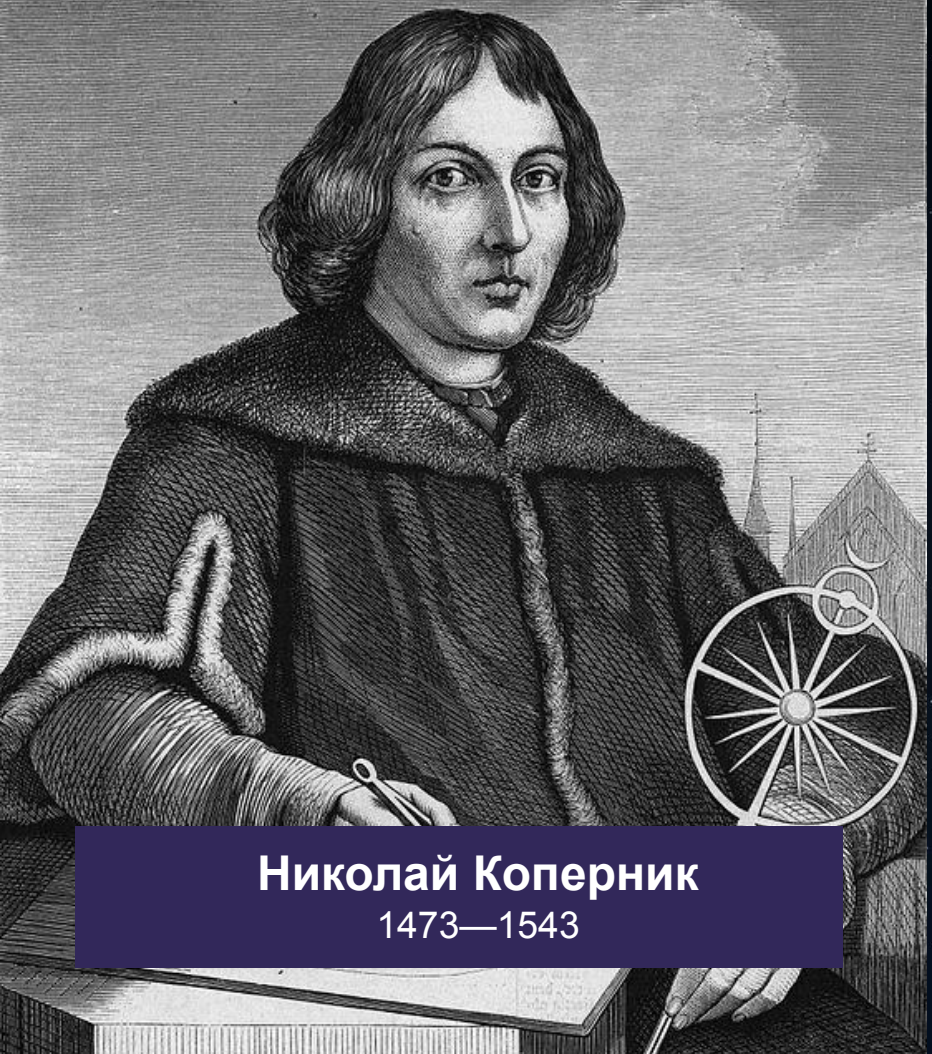


1

Познакомимся с формулировками трёх законов Кеплера.

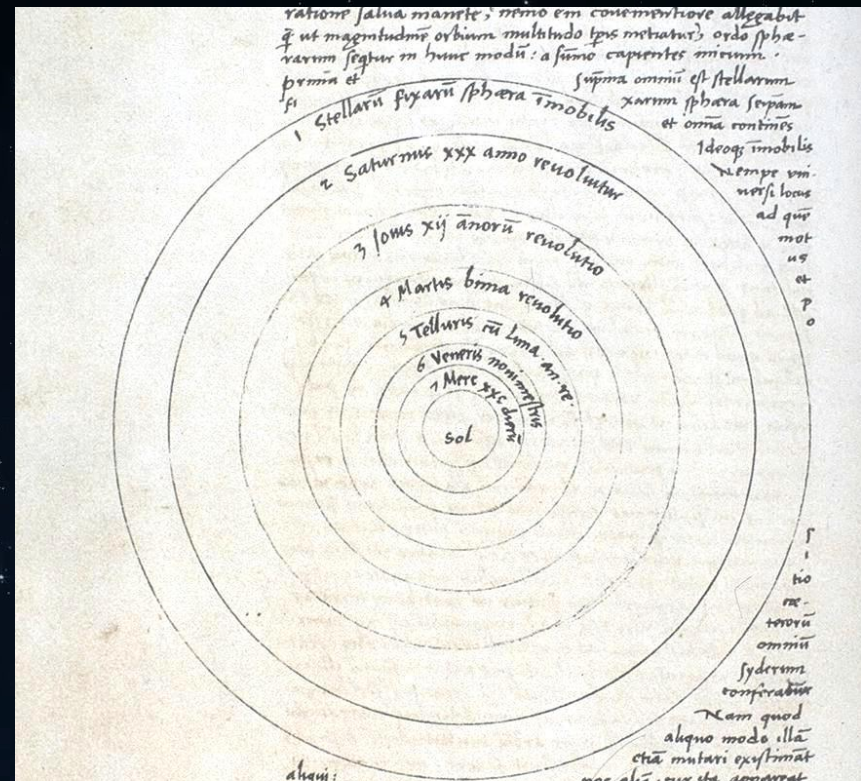
2

Узнаем, какую роль сыграли законы Кеплера для развития астрономии.



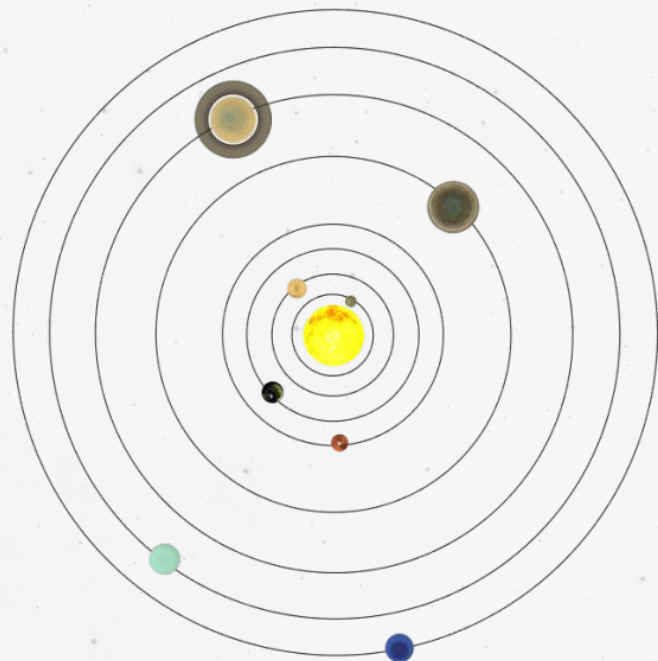
Николай Коперник

1473—1543



Небесные сферы в рукописи Коперника

Движение небесных тел — это
равномерное движение по
окружности.



Галилео Галилей

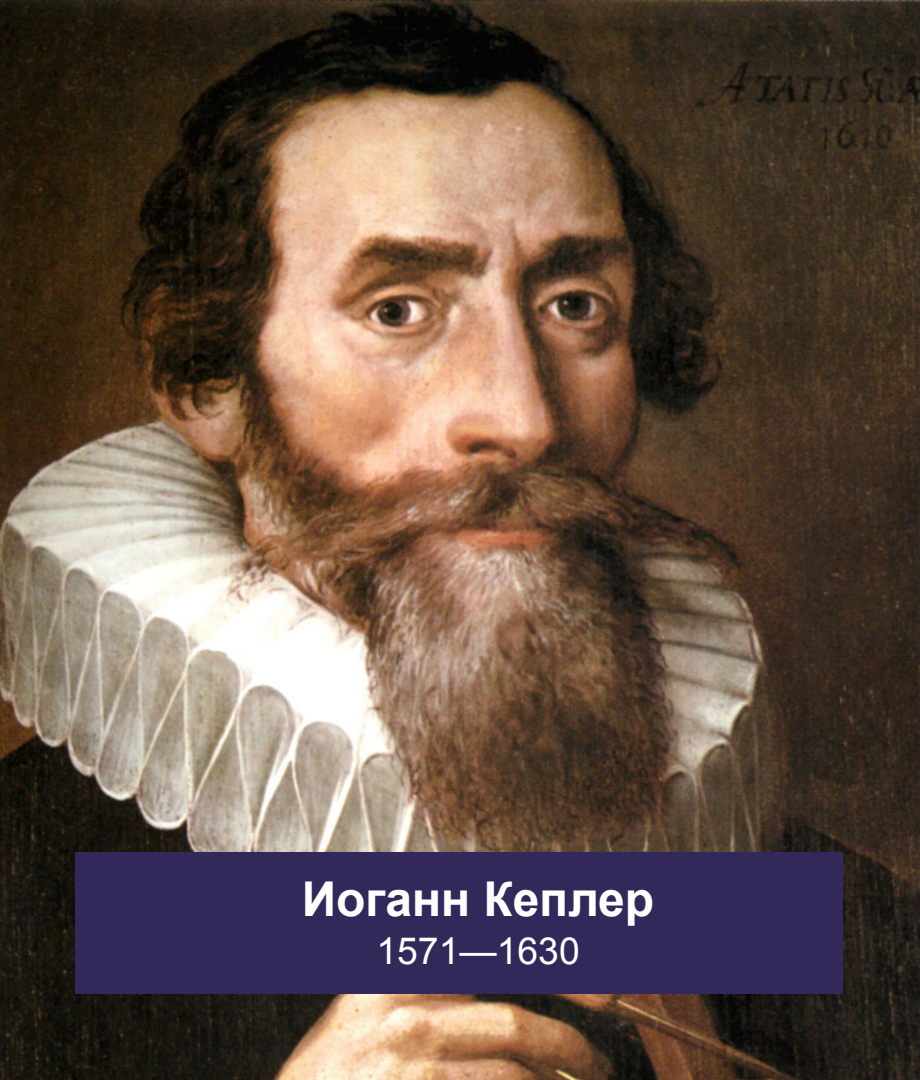
1564—1642



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

Меркурий и Венера в вечернем небе

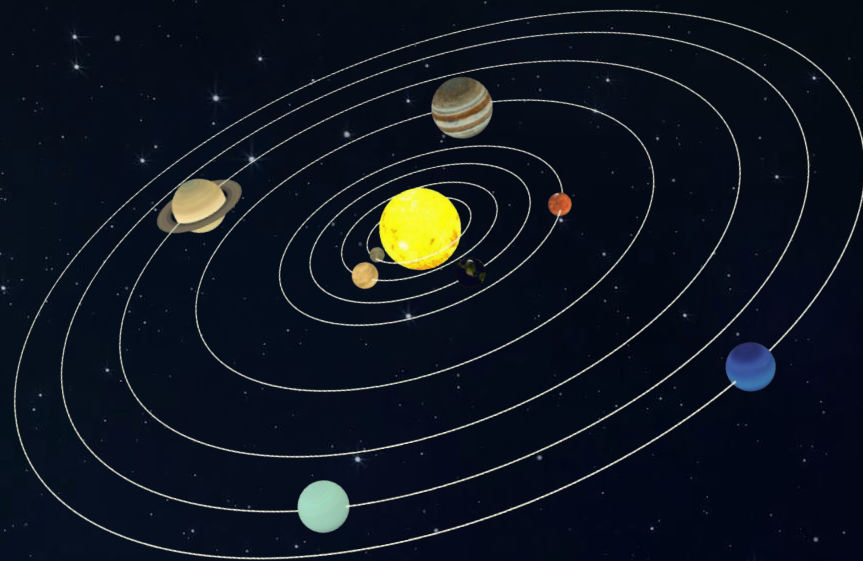


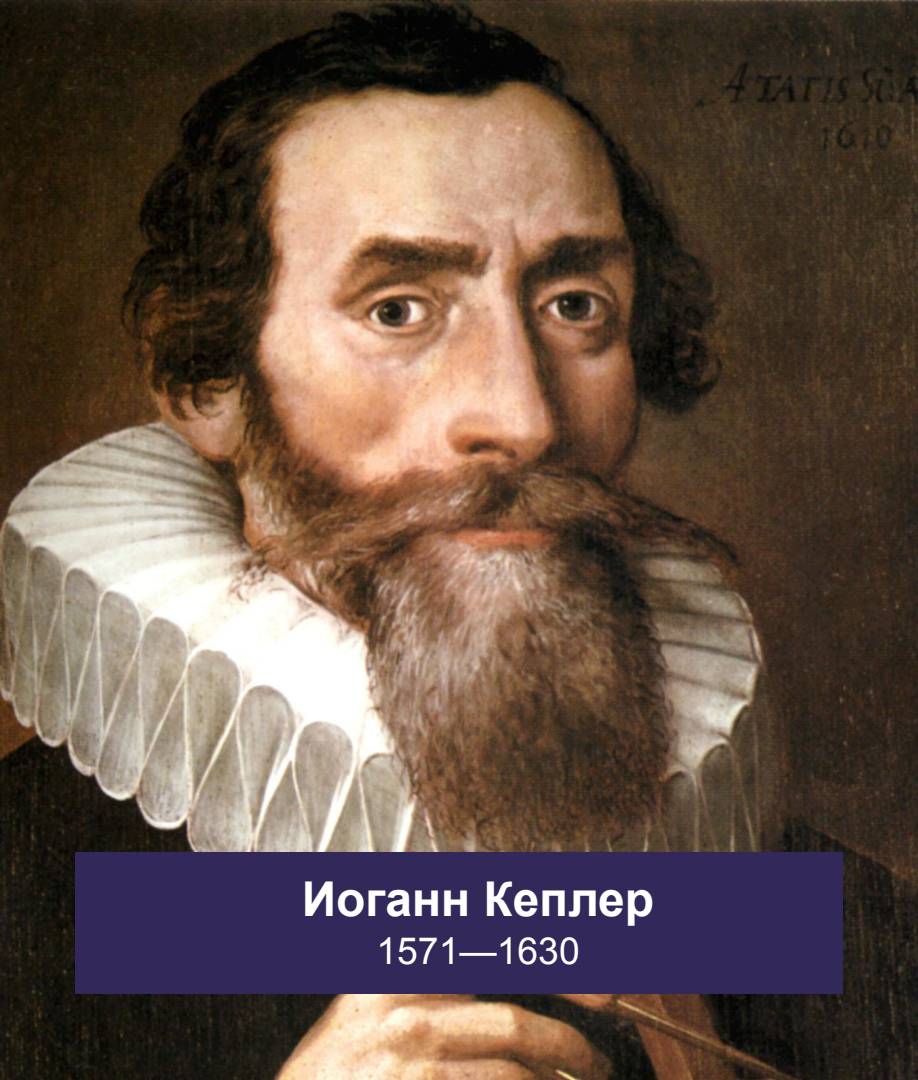


Иоганн Кеплер

1571—1630

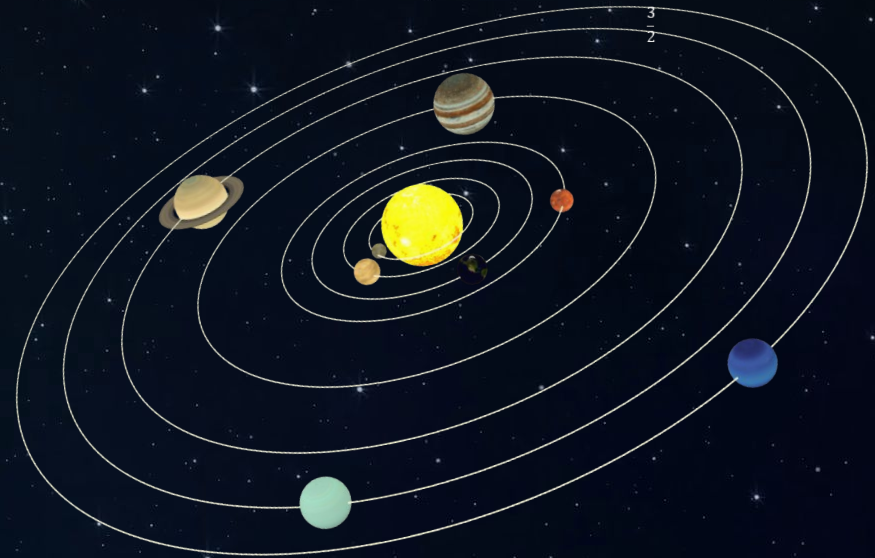
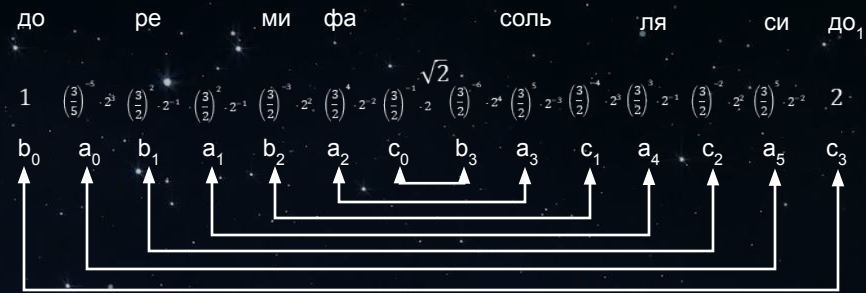
В мире правит число!

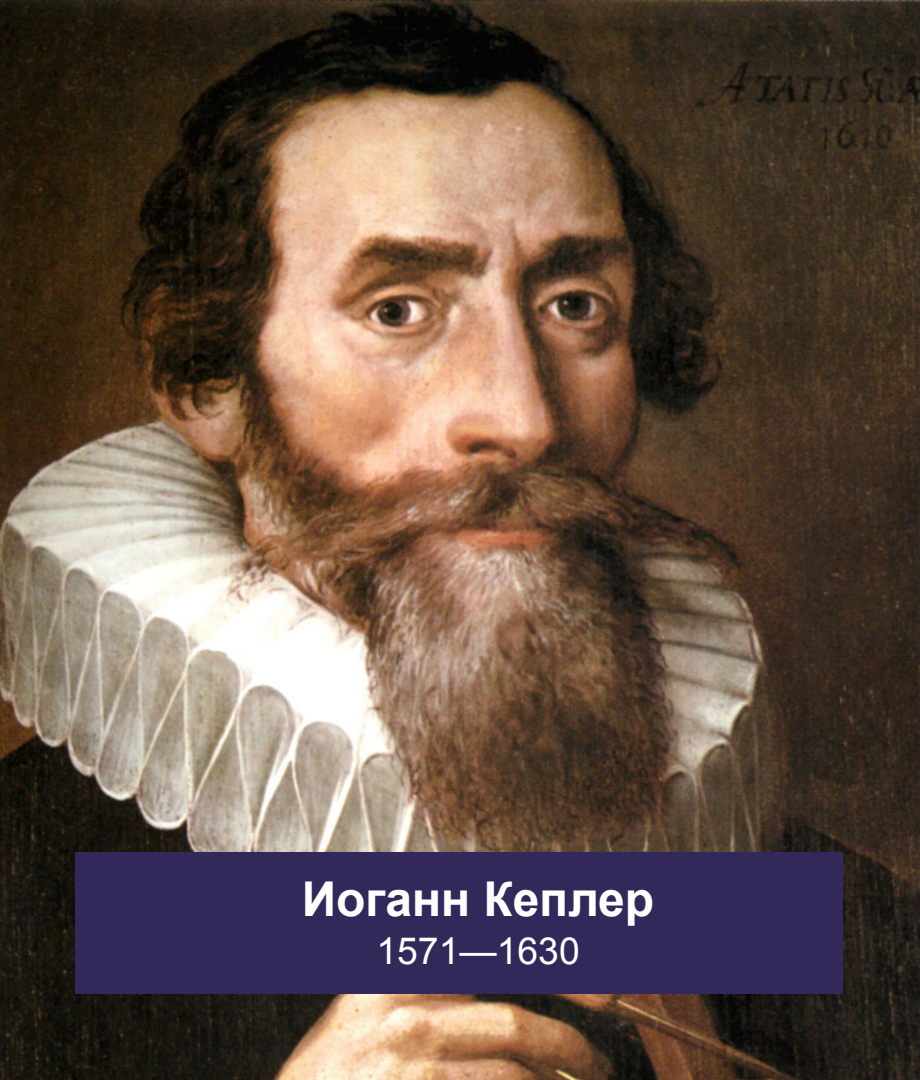




ATATIS SVA
1610

Иоганн Кеплер
1571—1630

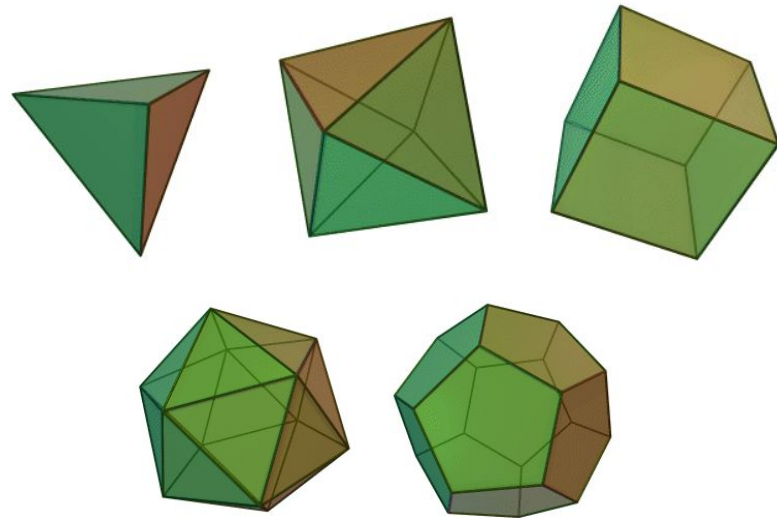


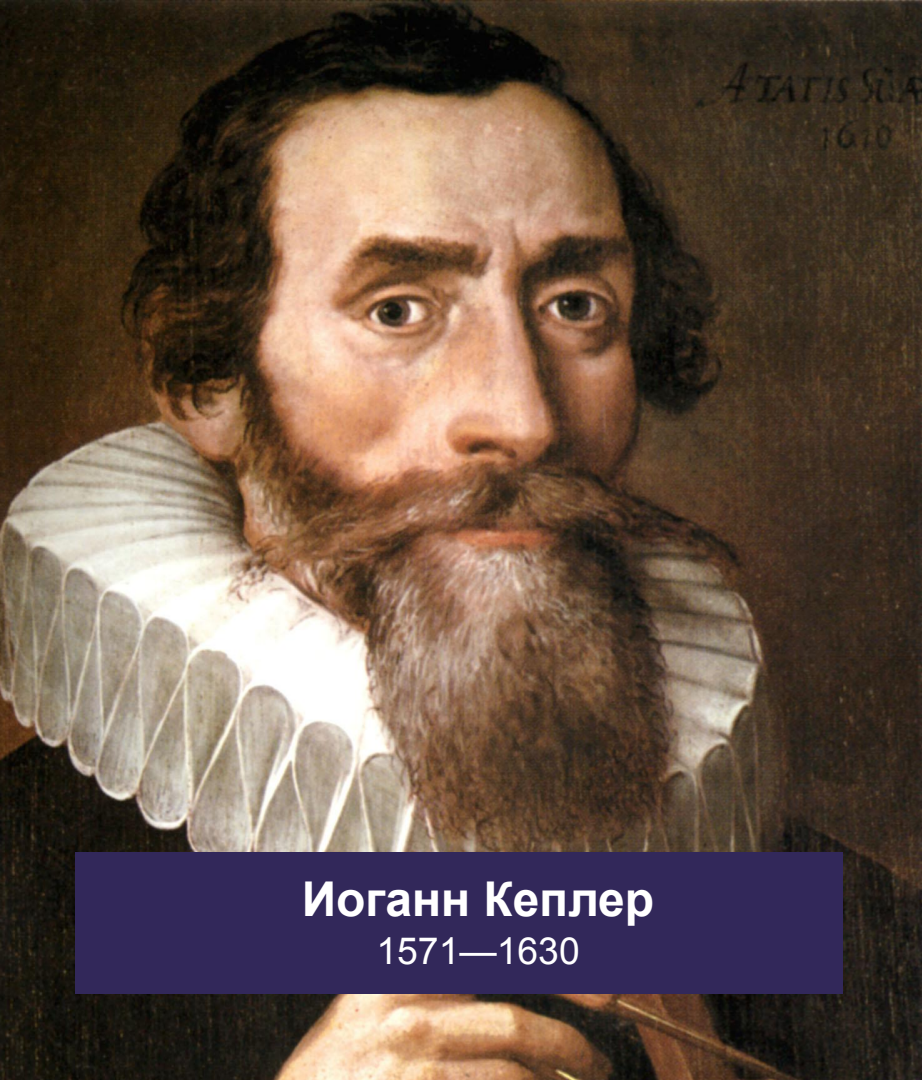


Иоганн Кеплер

1571—1630

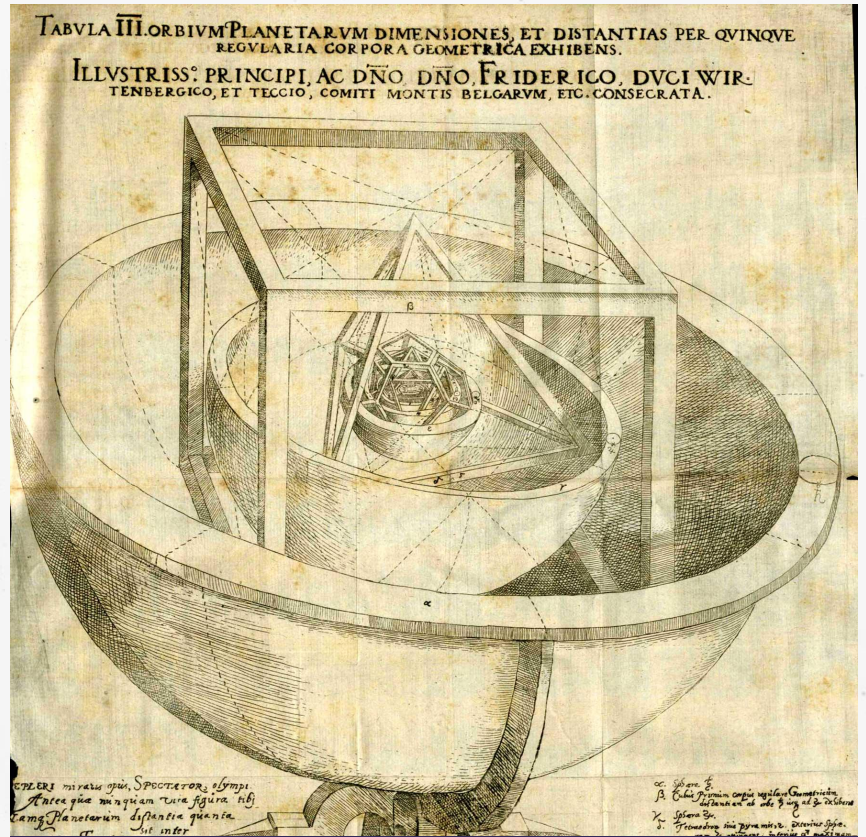
«В геометрии имеются пять евклидовых тел, совершеннейший род фигур после сферы. По их образцу и прообразу устроена наша планетная система».



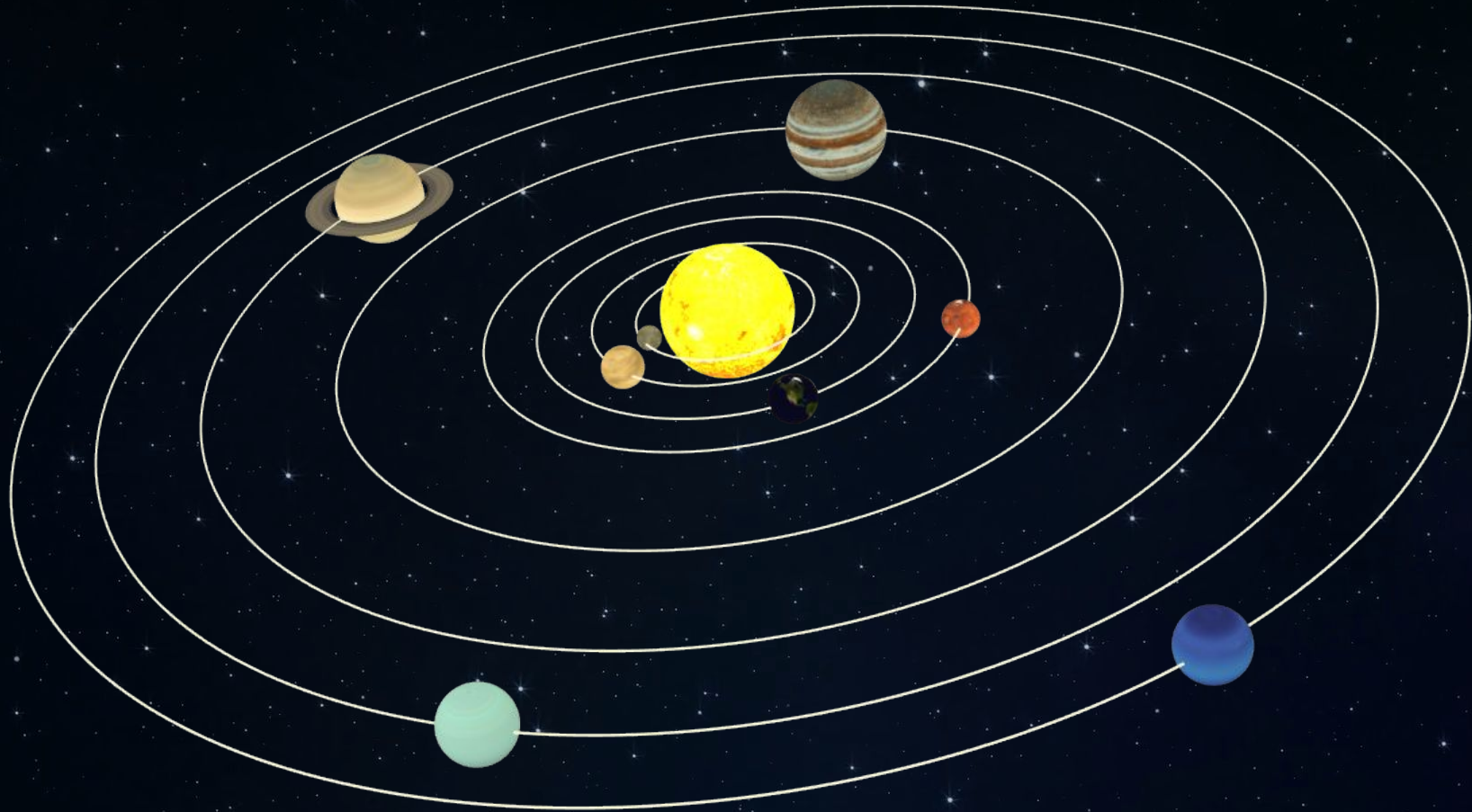


Иоганн Кеплер

1571—1630



«Кубок Кеплера»

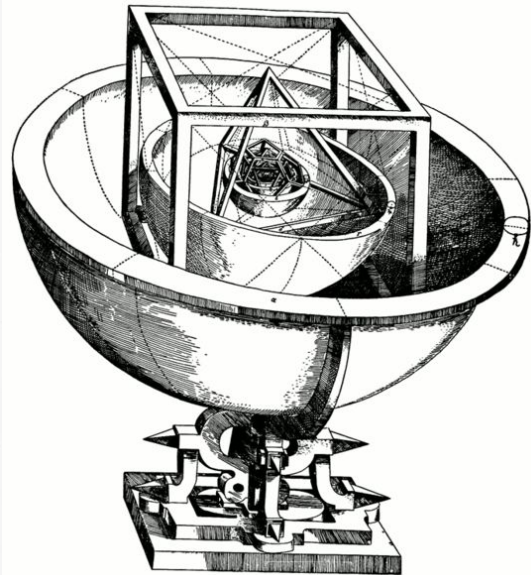




Джон Холдейн

1892—1964

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



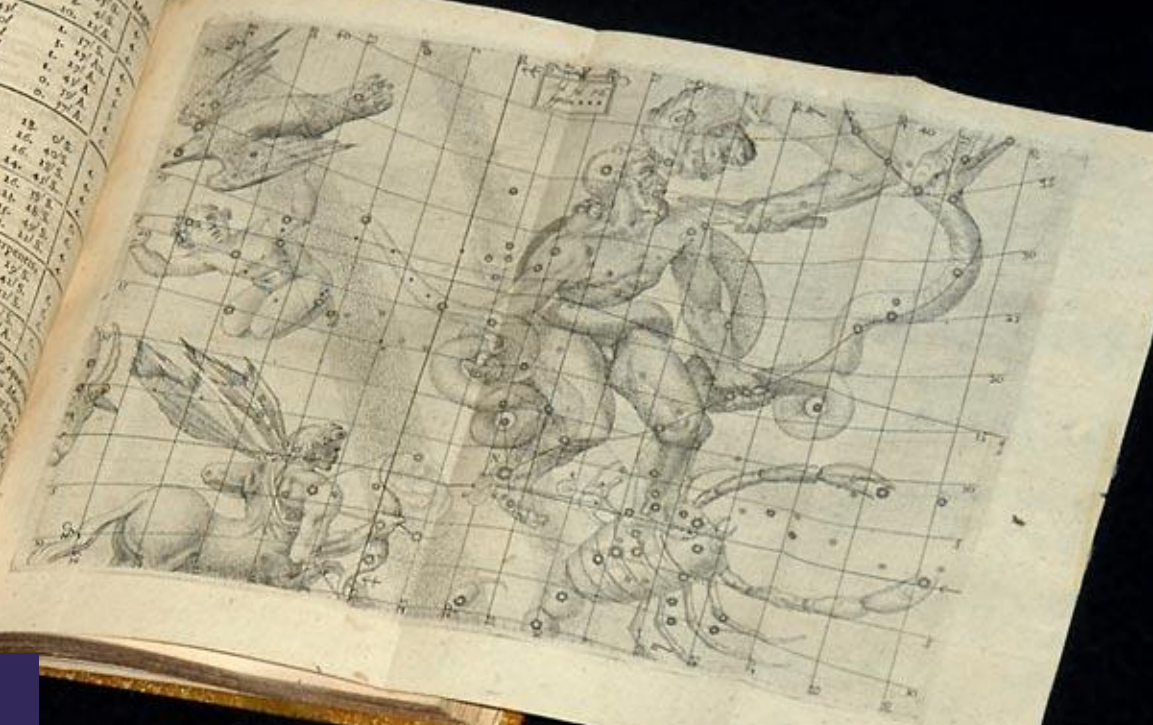


**Памятник Кеплеру и
Тихо Браге, Прага**

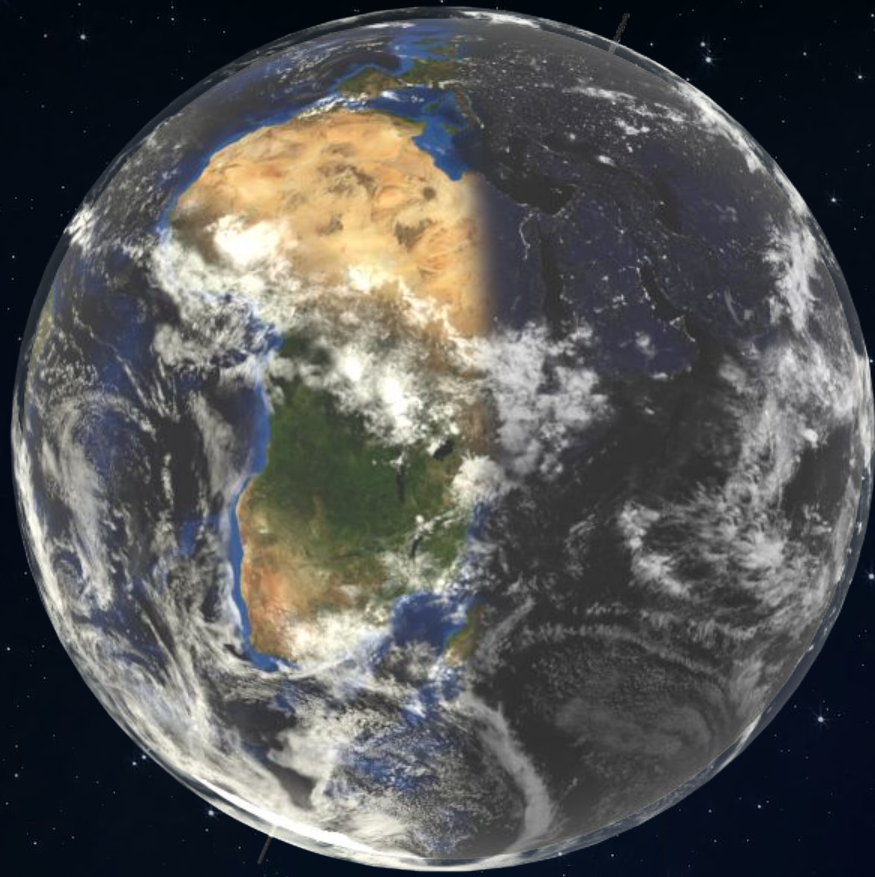
	Longit. Sagit.	Latit.
In Hicula (pisc. Scorpionis apex)	15. 47	19. 47
Prox. beta	15. 47	19. 47
Proxima	15. 47	19. 47
Gamma	15. 47	19. 47
Delta	15. 47	19. 47
Epsilon	15. 47	19. 47
Zeta	15. 47	19. 47
Eta	15. 47	19. 47
Theta	15. 47	19. 47
Iota	15. 47	19. 47
Kappa	15. 47	19. 47
Lambda	15. 47	19. 47
Mu	15. 47	19. 47
Nu	15. 47	19. 47
Xi	15. 47	19. 47
Omicron	15. 47	19. 47
Pi	15. 47	19. 47
Rho	15. 47	19. 47
Sigma	15. 47	19. 47
Tau	15. 47	19. 47
Upsilon	15. 47	19. 47
Phi	15. 47	19. 47
Chi	15. 47	19. 47
Psi	15. 47	19. 47
Omega	15. 47	19. 47

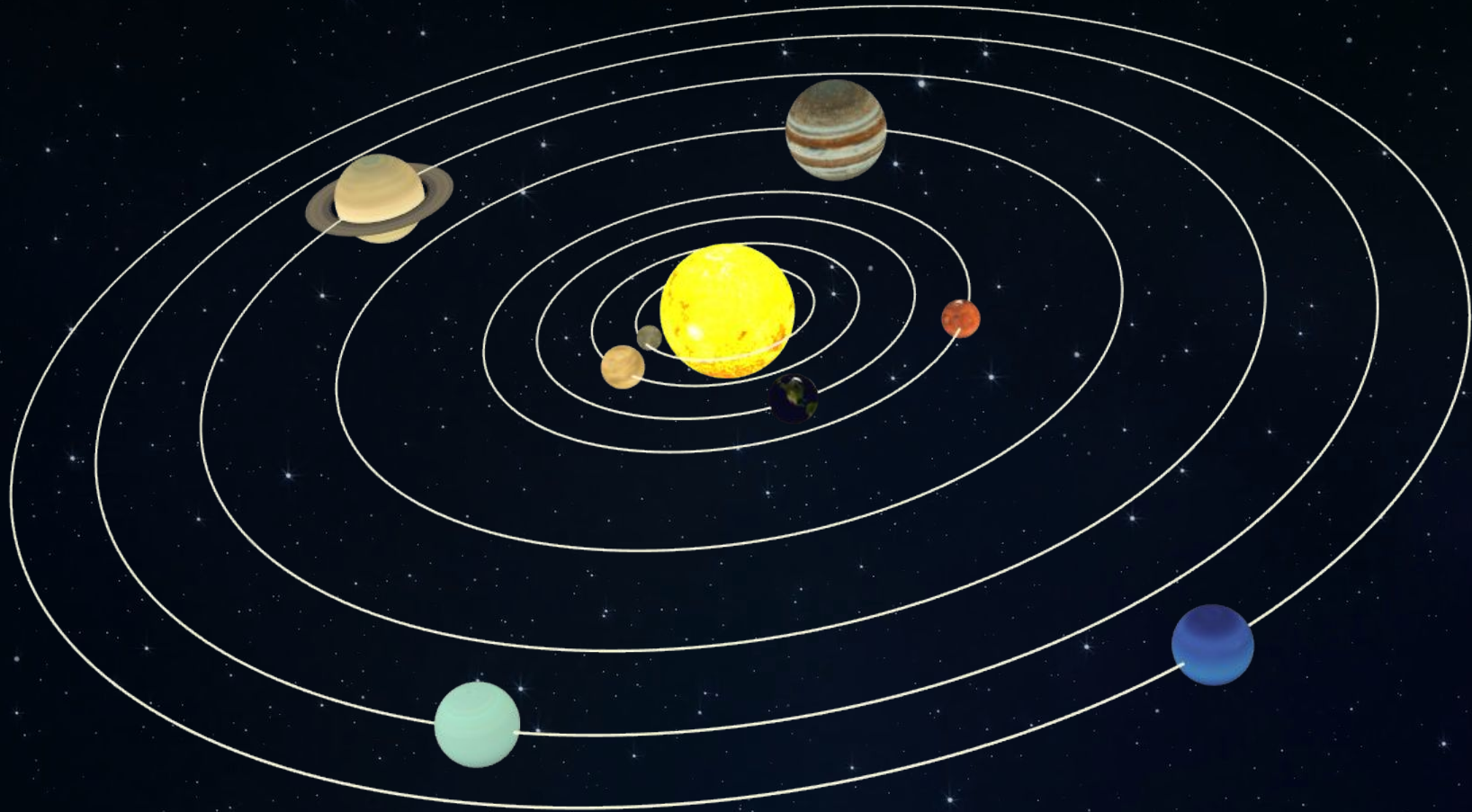
Quoniam in formam in Rhombo ad hoc
 medium dextrum in oculis
 Medusam prae
 Posterior
 Infima
 Dextrum parvarum supra caudam, superior sp.
 Inferior
 Infra caudam clava
 Pili pedum dextram, facia nova
 Trunc minimorum in eor. ultimam & penultimam cauda Serpentis
 procedens
 Media
 Posteriora
 Proxima infra ultimam, infus
 Caput Signae

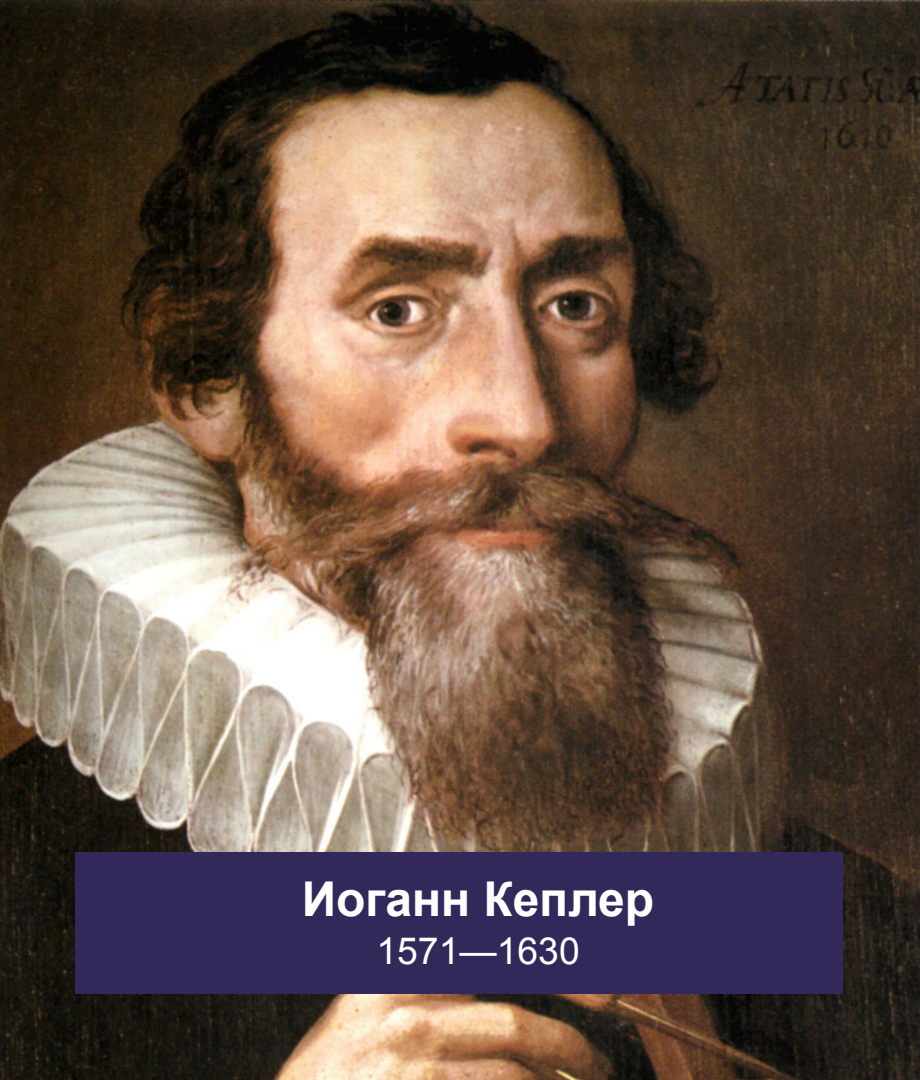
Hae referuntur ex Capro, Signae *** in qua
 notat, EC. Eclipticam in Capro, Signae *** in qua
 N. Novam: hoc dixerunt, ut a Capro, Signae *** in qua
 tunc est Signae conjunctum die 7 Decembris anni 1604, ut
 centum Signae Saturni, Jovis & Martis die 10. Sept. vel 10. Oct. 1604
 prae primo in visa est Nova stella. Reliquae res de
 pauli supra sunt explicate. Stellarum vero ceterarum nomina
 ex imaginum membris, quibus adherent.



Книга Кеплера
 «De Stella Nova», 1604 г.



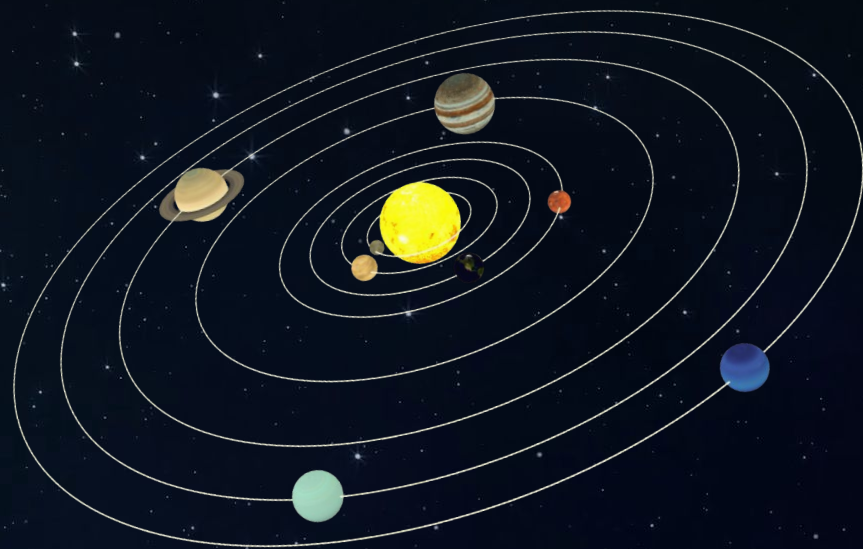




Иоганн Кеплер

1571—1630

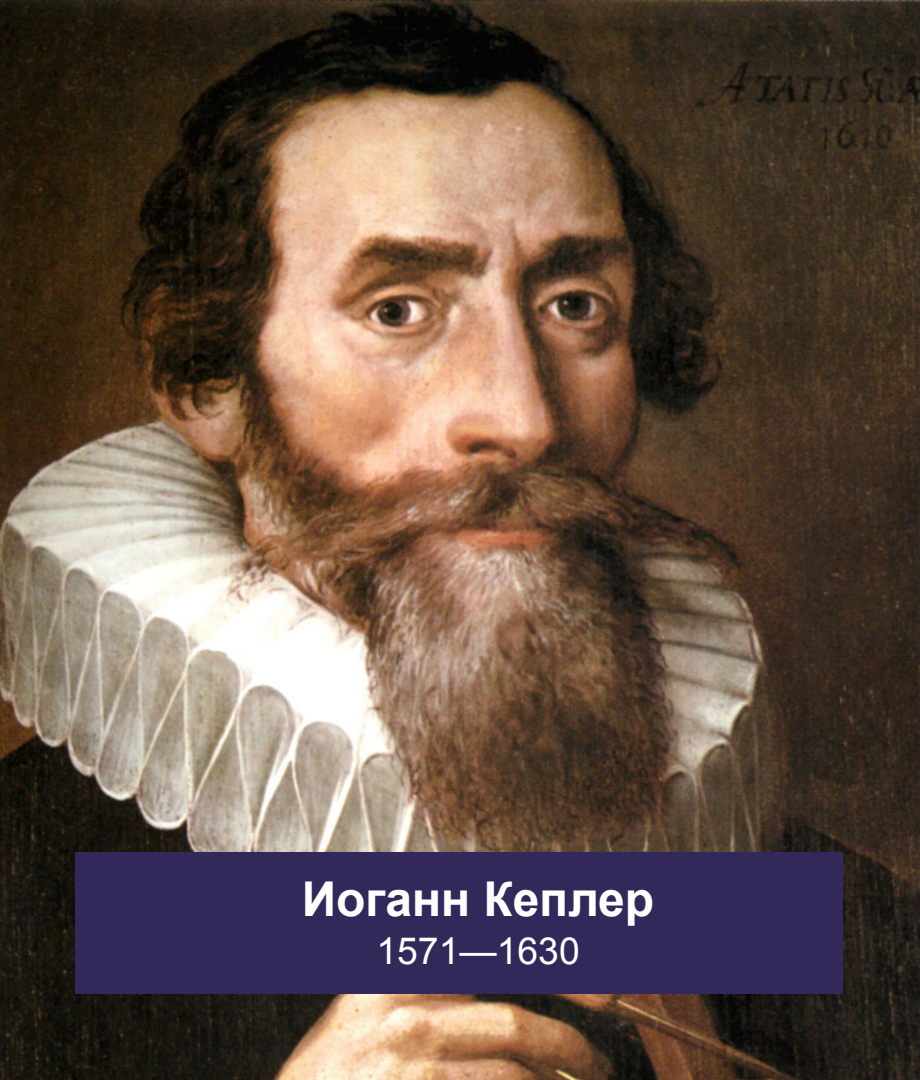
Как по данным наблюдений
определить орбиту и скорость
движения других планет?





Модель Sunway TaihuLight —

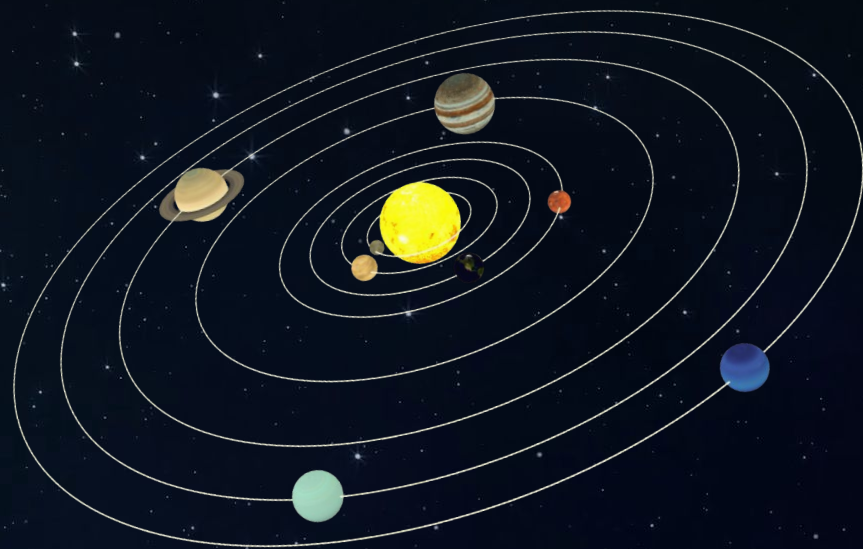
самый производительный суперкомпьютер в мире по состоянию на ноябрь 2016 г.



Иоганн Кеплер

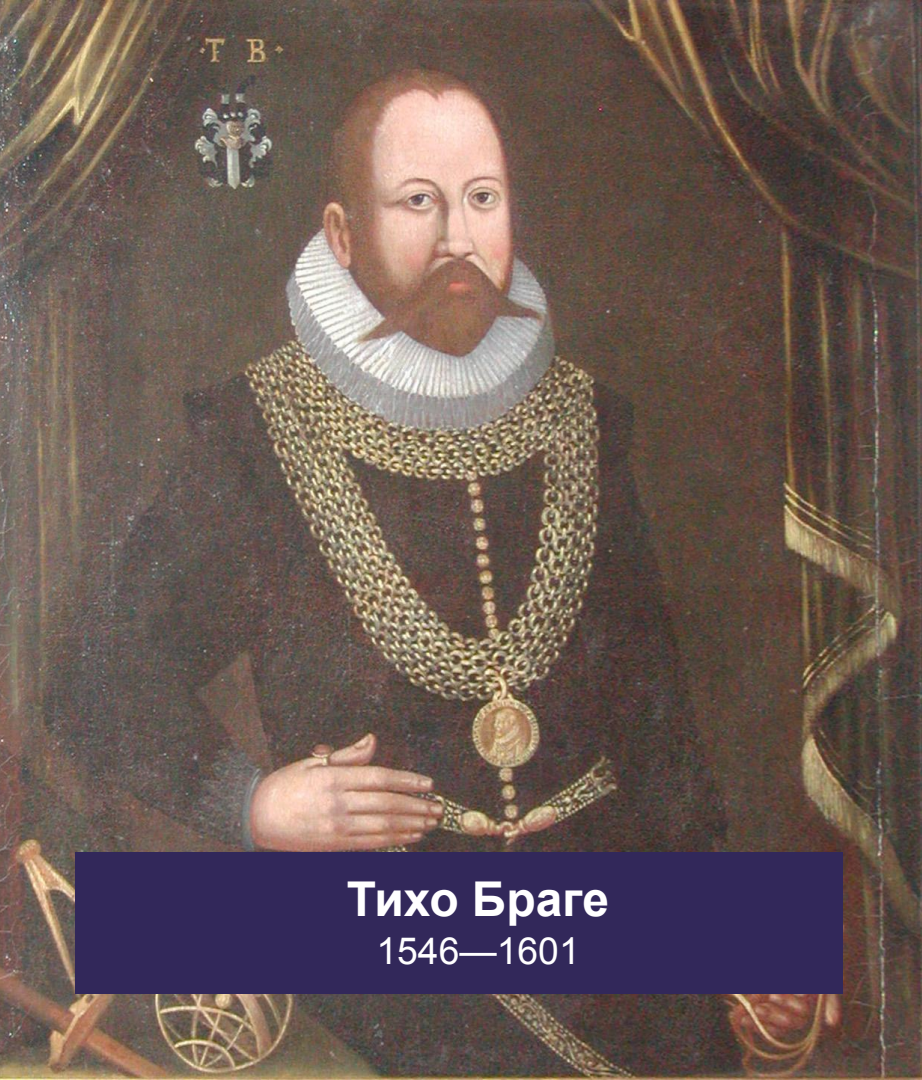
1571—1630

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

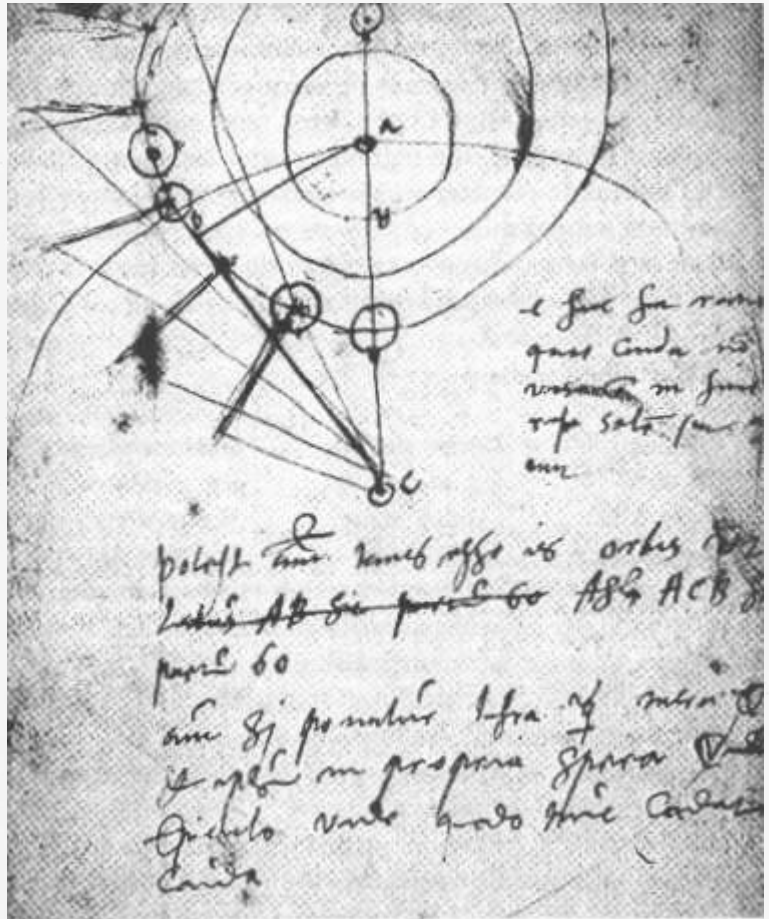


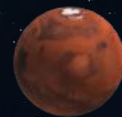
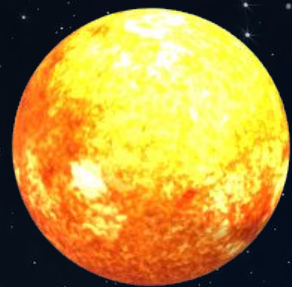
Марс





Тихо Браге
1546—1601





Законы Кеплера

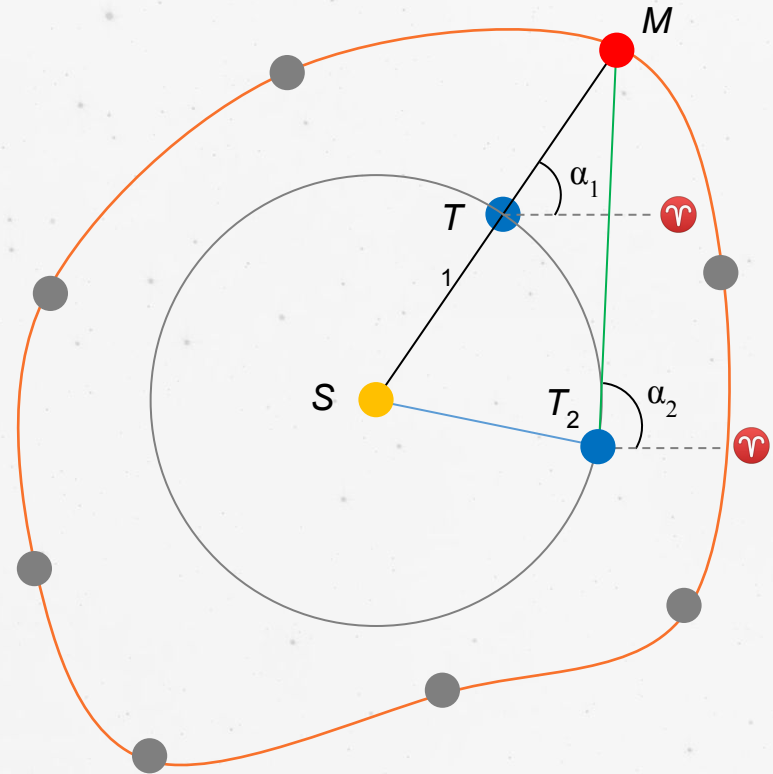
S — Солнце.

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

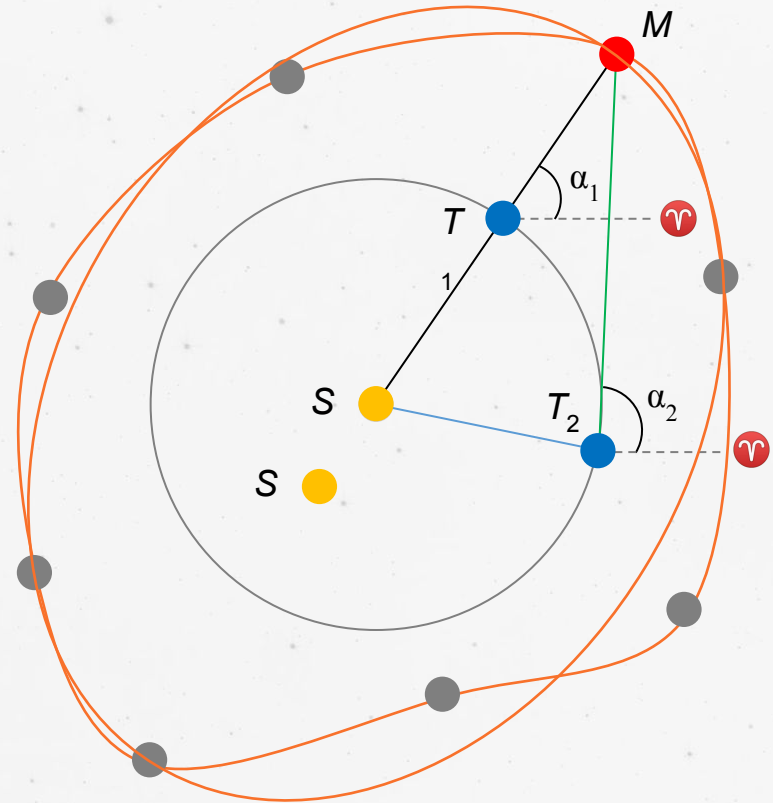
Возможные решения проблемы:

1. Орбита планеты является окружностью.

Вычисленные координаты Марса расходятся с наблюдением.

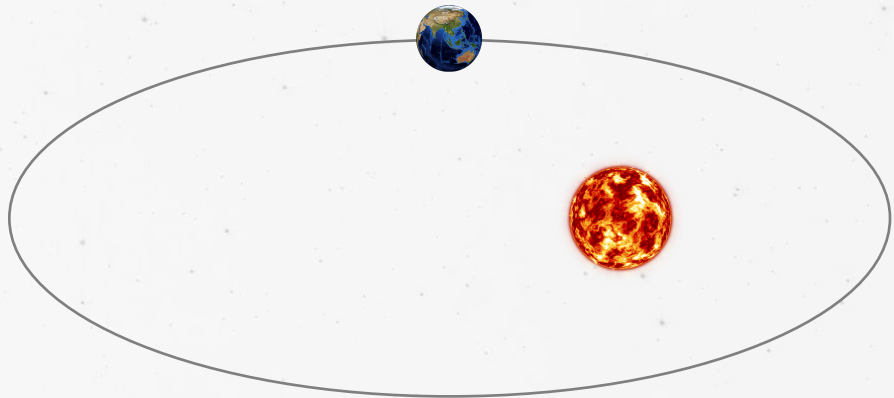
2. Орбита планеты действительно не является круговой.

Все наблюдения являются правильными.



Первый закон Кеплера

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

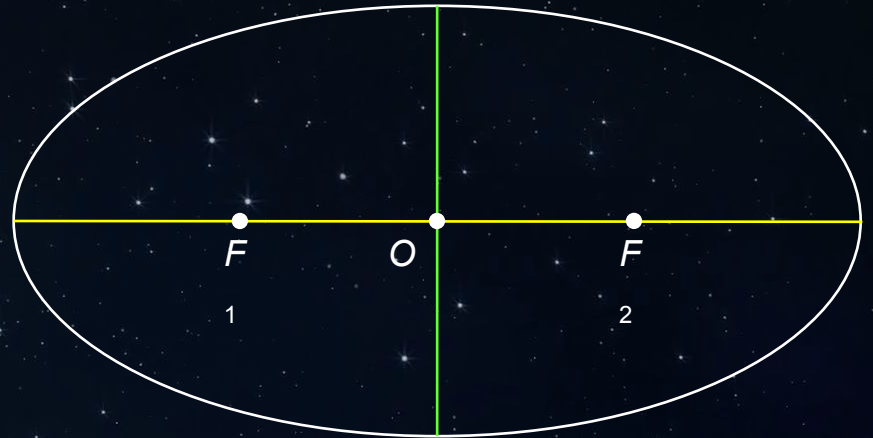


И. Кеплер

Законы Кеплера

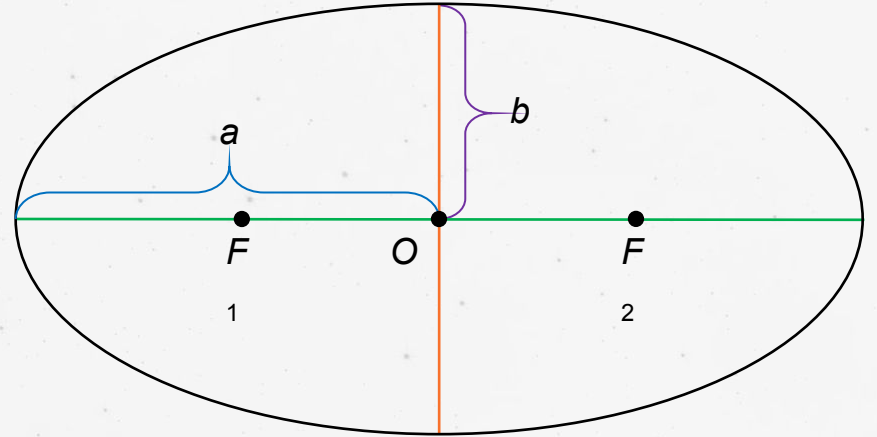
Проходящий через фокусы эллипса отрезок, концы которого лежат на эллипсе, называется его **большой осью**.

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



Законы Кеплера

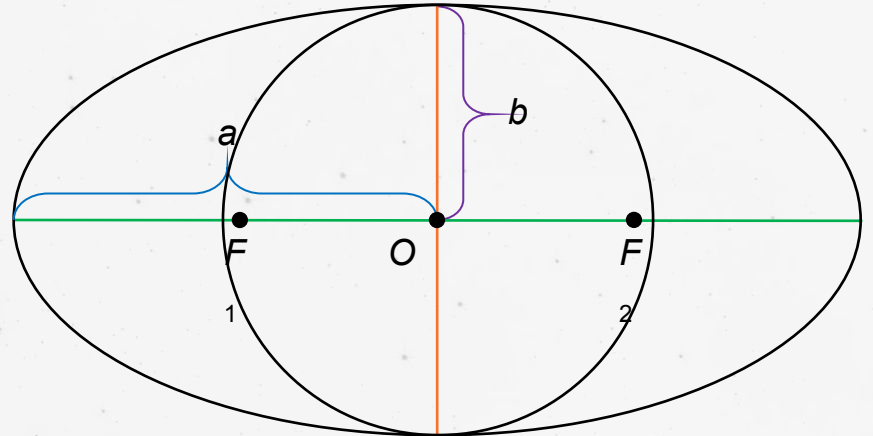
Отрезки, проведённые из центра эллипса к вершинам на большой и малой осях, называются **большой и малой полуосями** эллипса.



Законы Кеплера

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

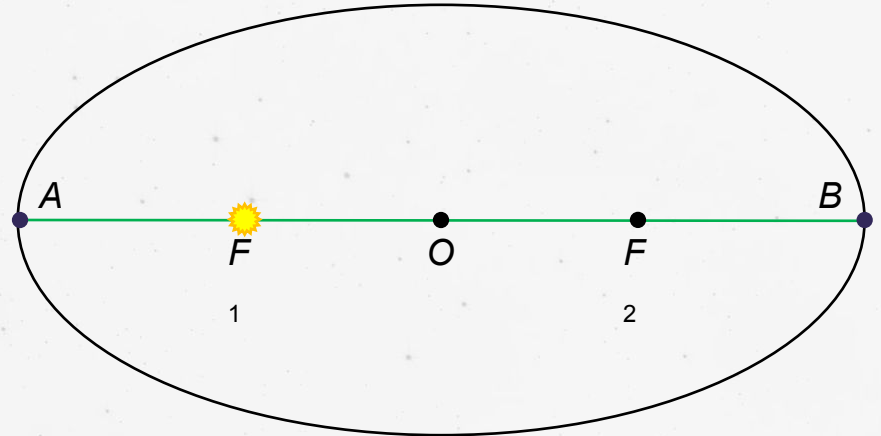
$$e = \frac{F_1F_2}{2a} = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a}$$



Законы Кеплера

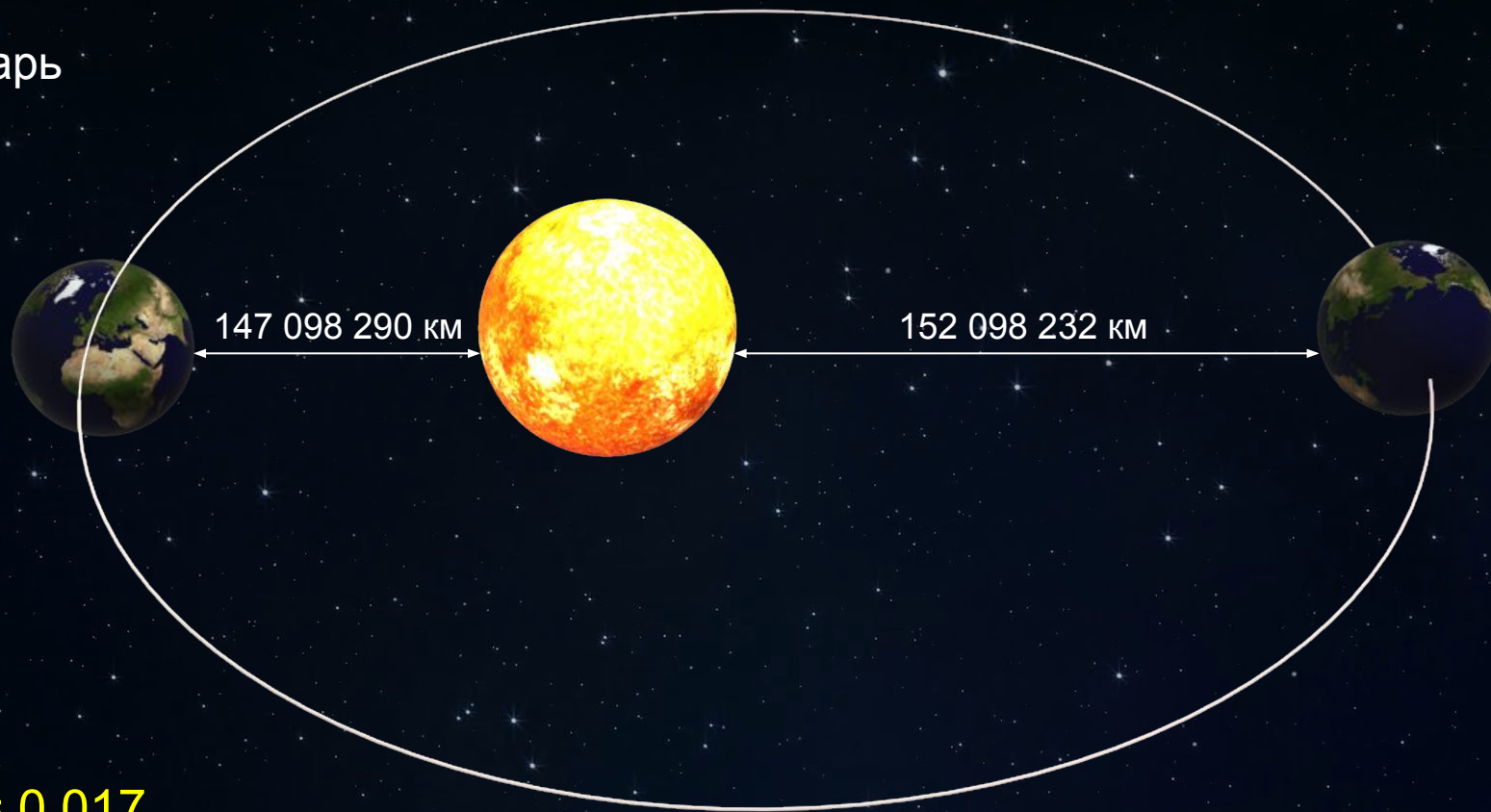
Перигелий —
ближайшая к Солнцу точка орбиты
планеты.

Афелий —
наиболее удалённая от Солнца точка
орбиты планеты.

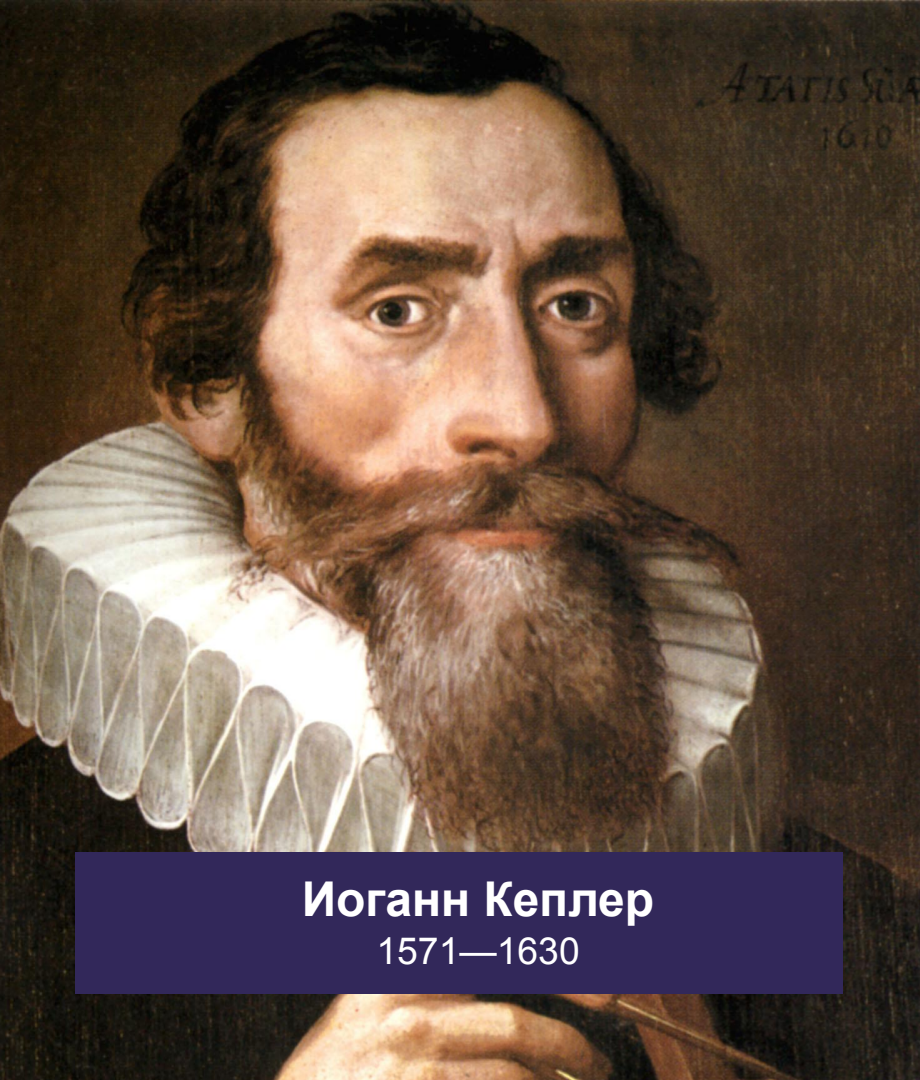


Январь

Июль



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



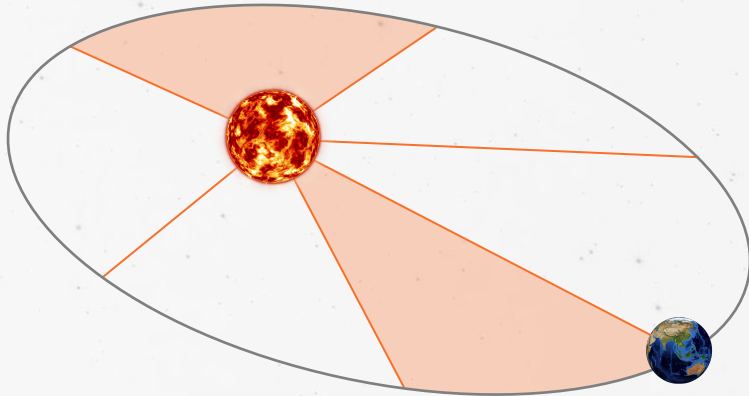
Иоганн Кеплер

1571—1630



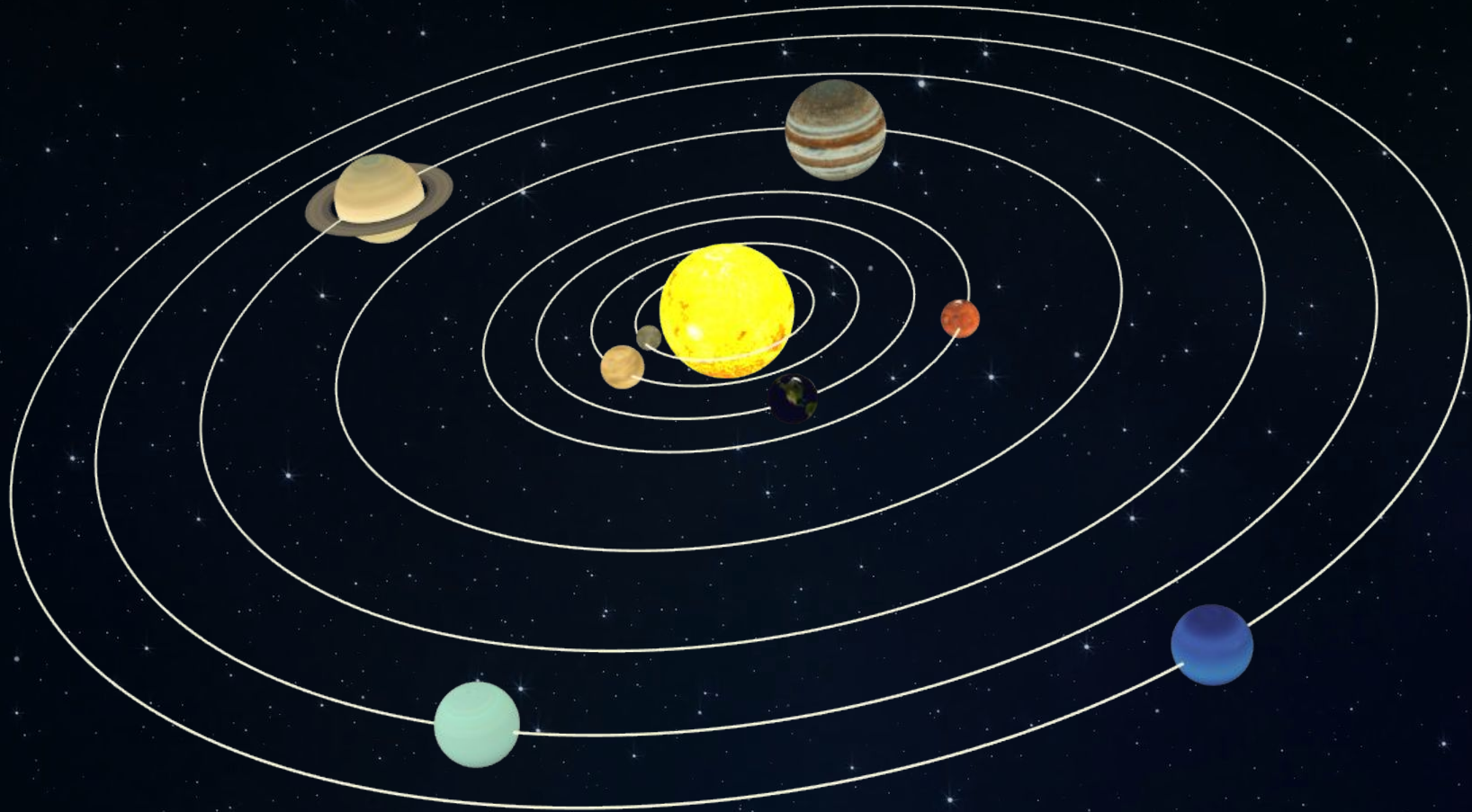
Второй закон Кеплера

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.

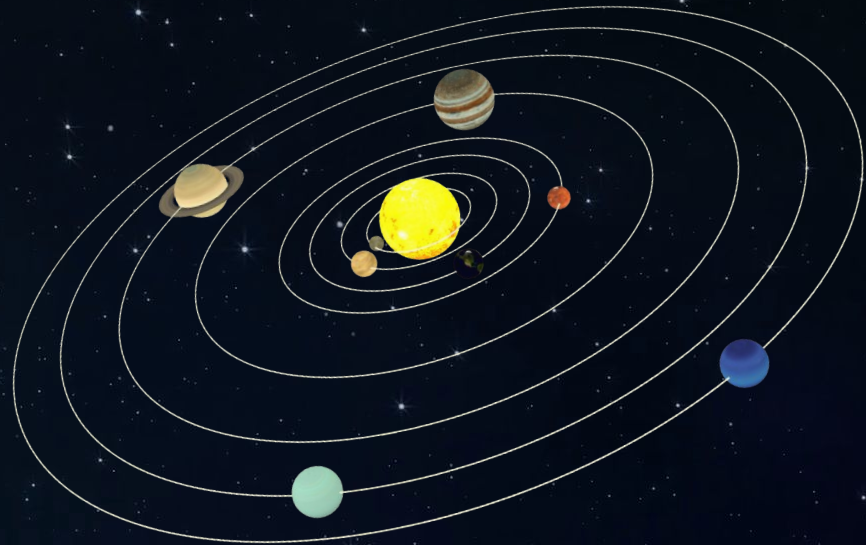
$$W = W_K + W_{\Pi}$$

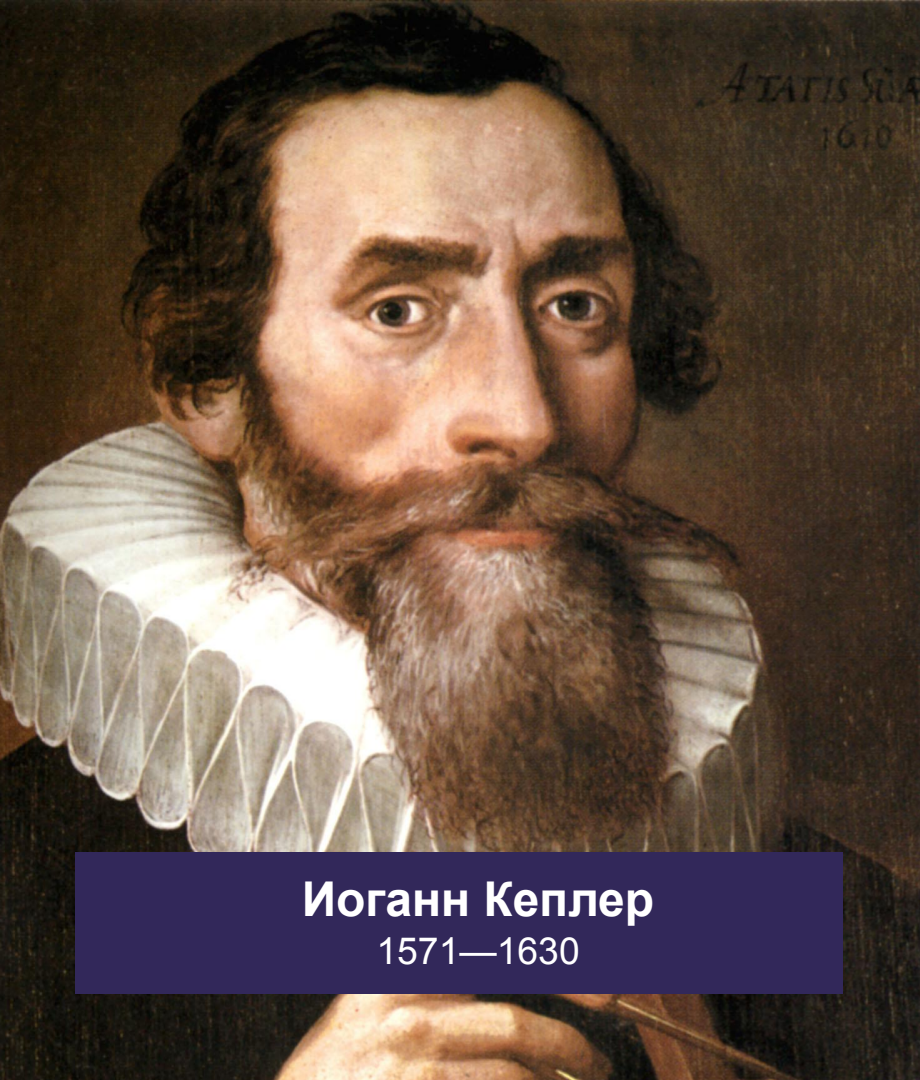


W_{Π} W_K

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:

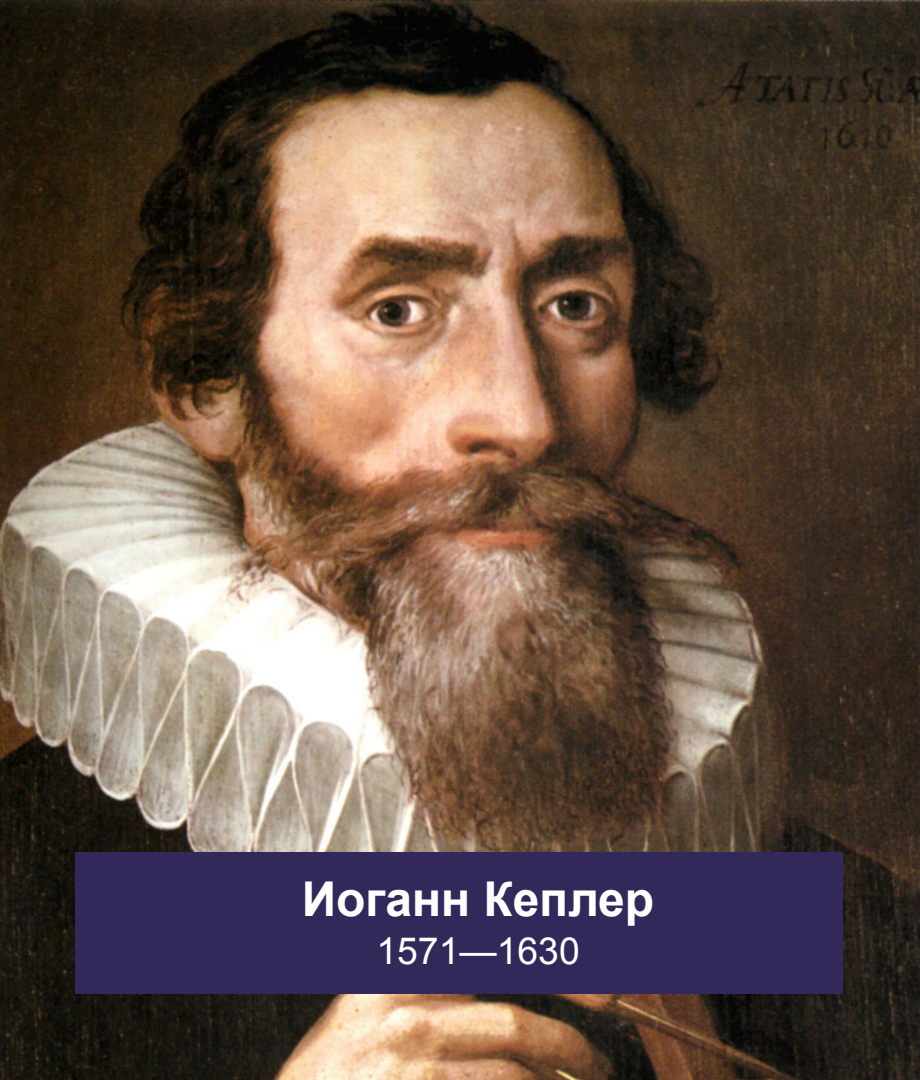
Plurium annorum pertinaci studio
elaborata Pragæ,

A S. C. M.™ S. Mathematico

JOANNE KEPLERO,

Cum ejusdem C. M.™ privilegio speciali

ANNO MDCXXXI Dionysianæ clc Io c ix.



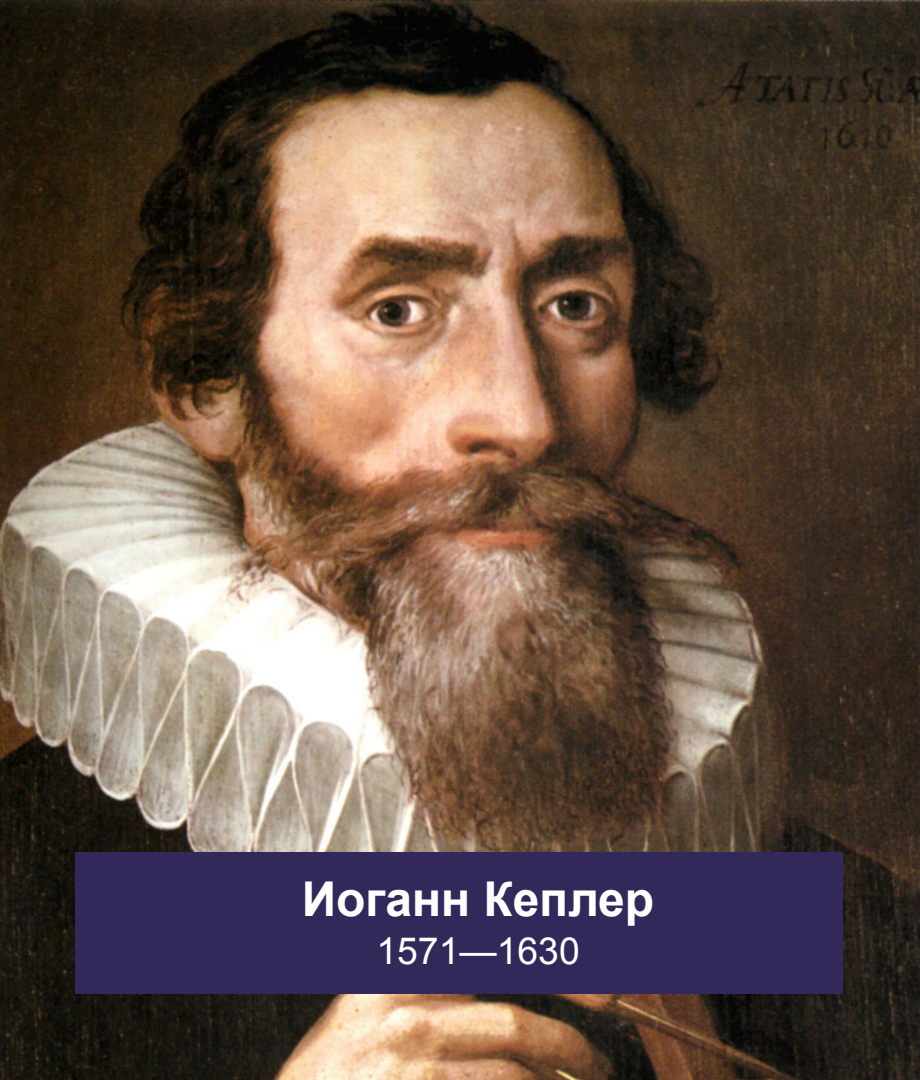
Иоганн Кеплер

1571—1630

Первый закон Кеплера (1609):

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



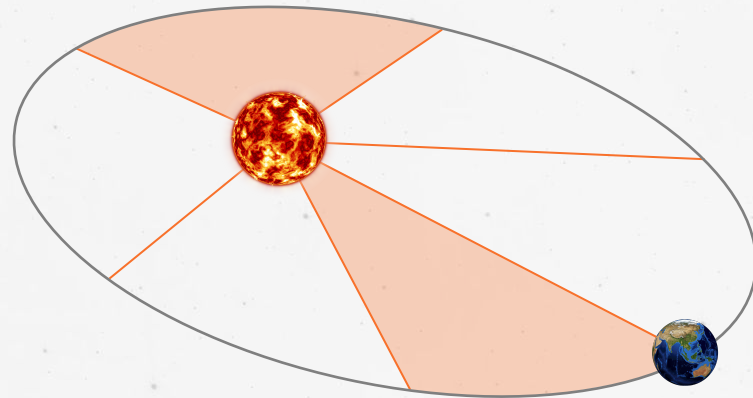


Иоганн Кеплер

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.

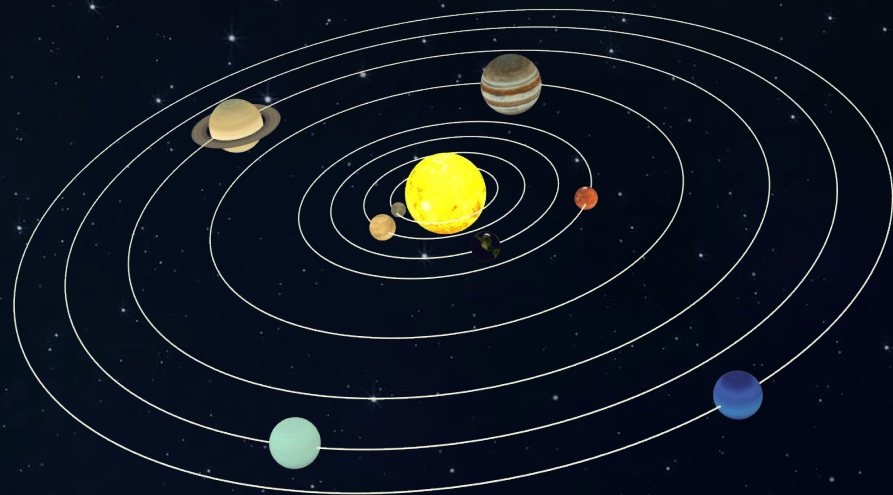


И. Кеплер

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



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



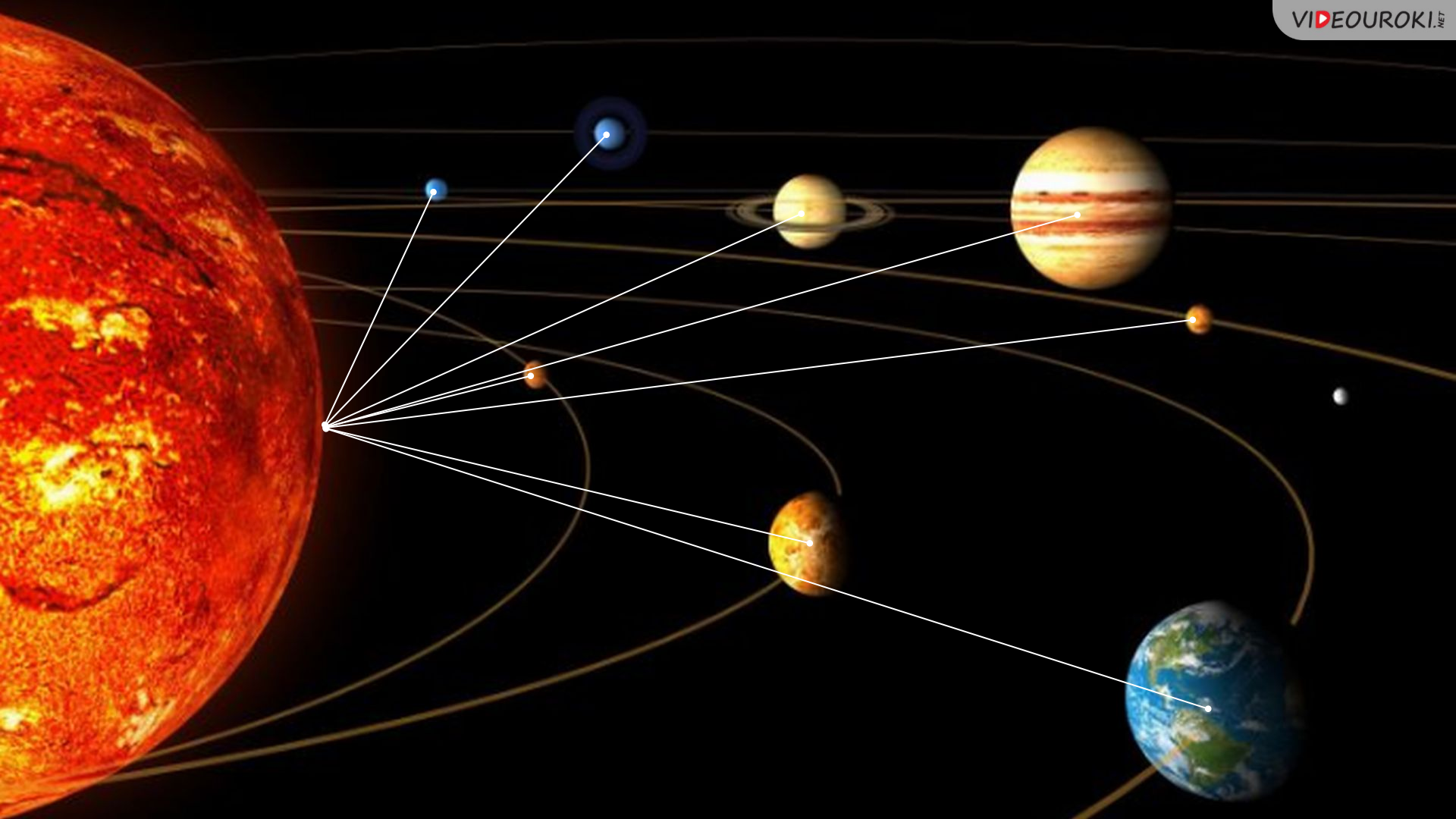
Третий закон Кеплера

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



И. Кеплер

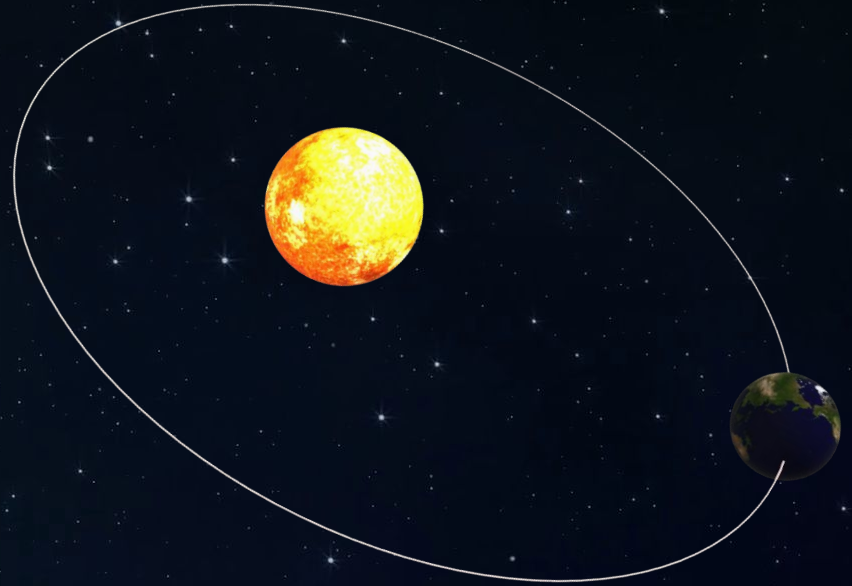
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



Законы Кеплера

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

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



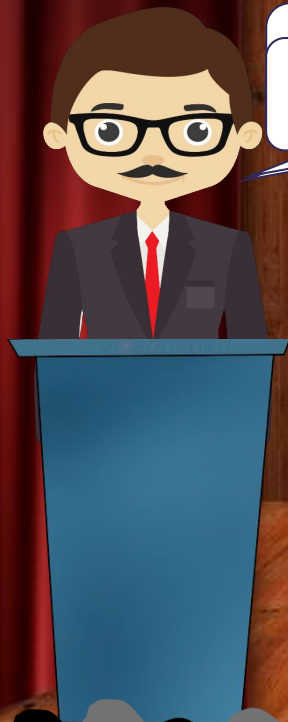


Первый закон Кеплера (1605):
все планеты движутся по
эллиптическим орбитам, в одном из
фокусов которых находится Солнце.

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

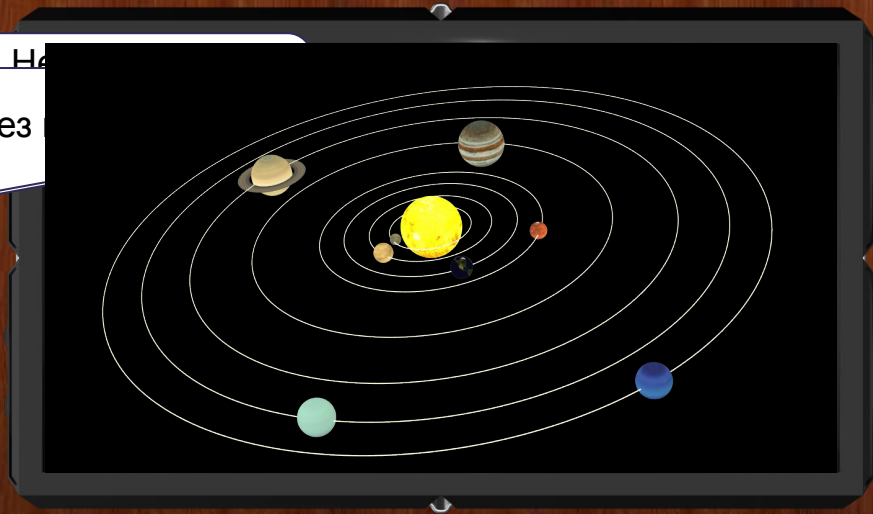
Третий закон Кеплера (1618):
квадраты периодов обращения планет
относятся как кубы больших полуосей
их орбит:

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



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.

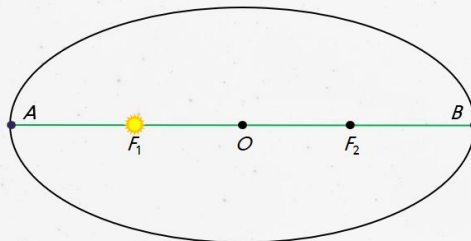



Выводы


Законы Кеплера

Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты.

Афелий — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты.

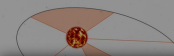



Первый закон Кеплера (1609): все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце.



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.

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



И. Кеплер

Законы Кеплера

Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты.

Афелий — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты.

