



Кеплер уже был знаком с гелиоцентрической системой Коперника и знал, что Земля вращается вокруг Солнца.

## Первый закон Кеплера:

орбиты планет представляют собой эллипсы, в одном из фокусов которых расположено Солнце.



*Эллипсом* называется геометрическое место точек, сумма расстояний от которых до двух заданных точек  $F_1$  и  $F_2$ , называемых *фокусами* эллипса, есть величина постоянная.

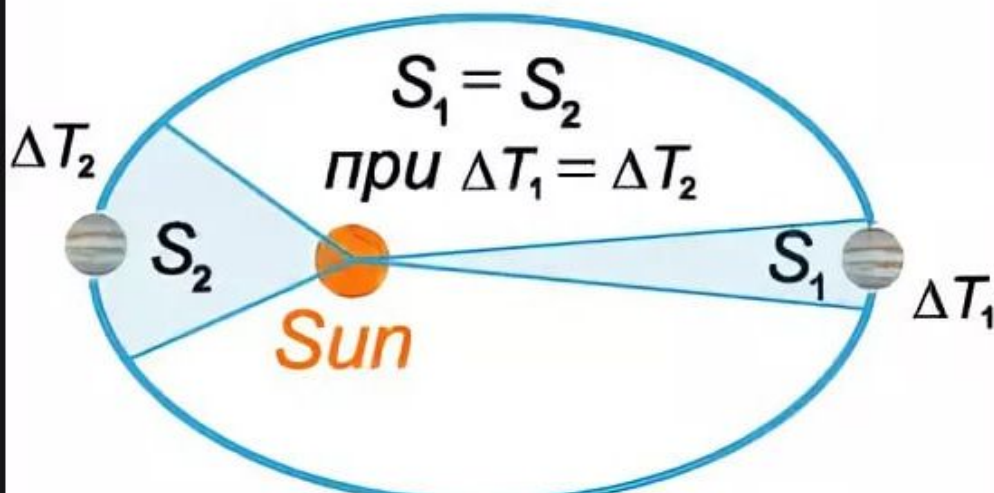
$F_1$  и  $F_2$  - *фокусы* эллипса



## Второй закон Кеплера:

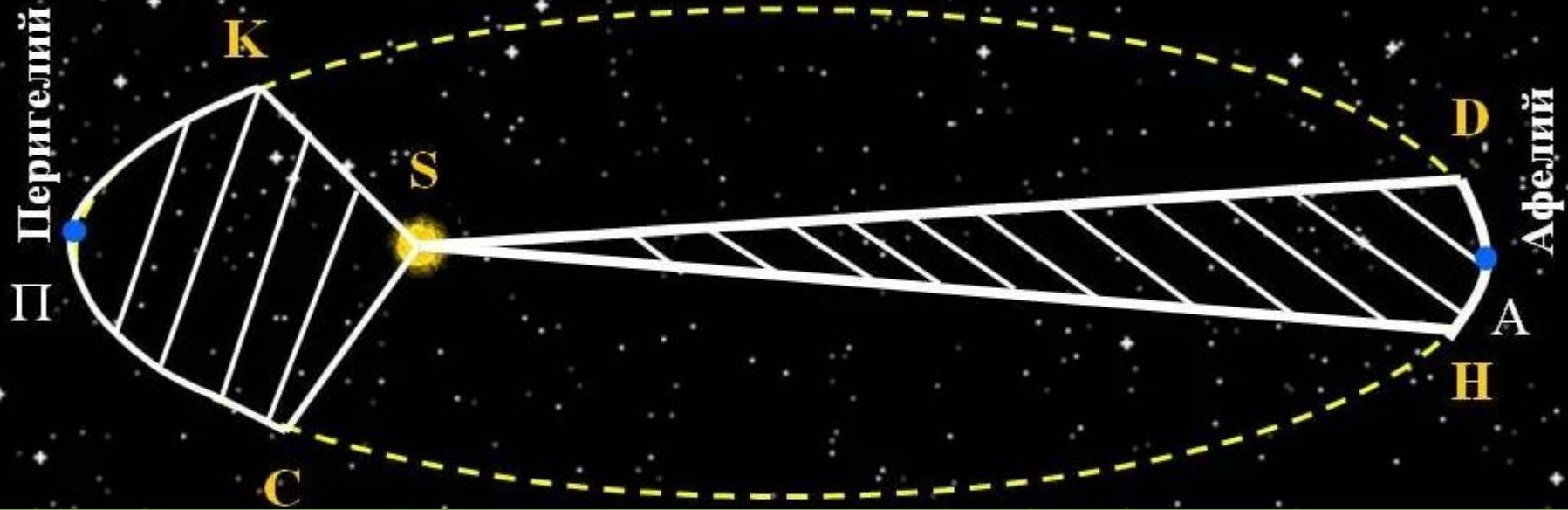
отрезок прямой, соединяющий Солнце и планету, отсекает равные площади за равные промежутки

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



Следствие: чем дальше от Солнца уводит планету эллиптическая орбита, тем медленнее движение, чем ближе к Солнцу — тем быстрее

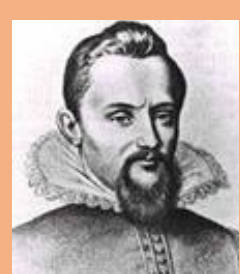
Перигелий- ближайшая к Солнцу точка орбиты.  
Афелий- наиболее удалённая от Солнца точка



### Второй закон Кеплера:

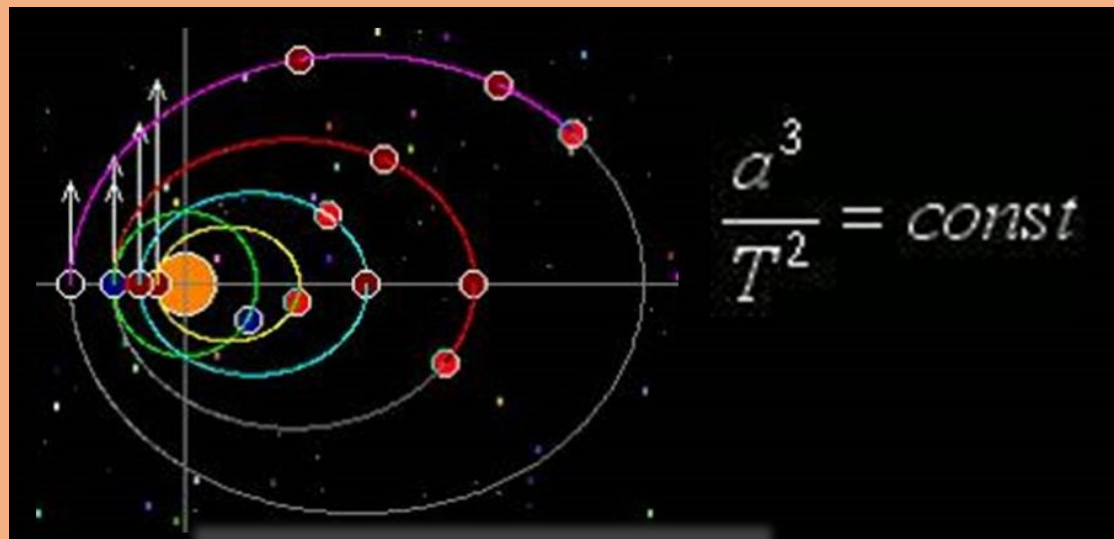
Радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади.

Линейная скорость вблизи перигелия больше, чем вблизи афелия.



# Третий закон Кеплера:

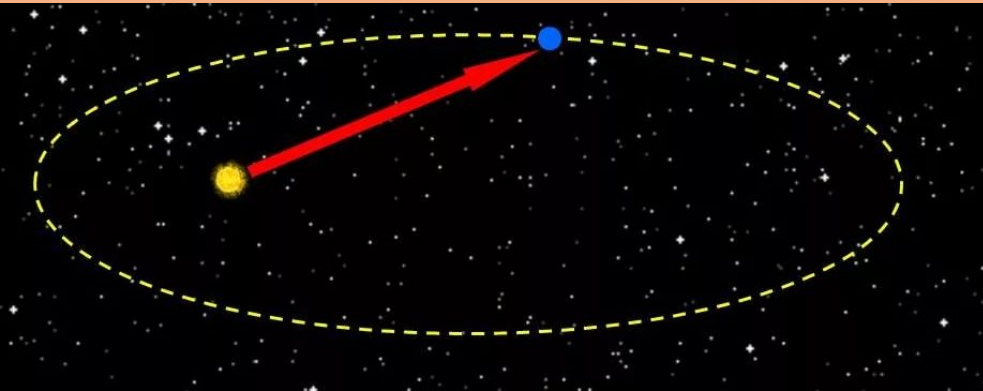
квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей эллипсов, по которым они движутся.



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

| Планета  | Расстояние до Солнца, $a$ (в астрономических ед.) | Период вращения, $T$ (в годах) | Отношение $\frac{a^3}{T^2}$ |
|----------|---|--------------------------------|-----------------------------|
| Меркурий | 0,30  | 0,16                           | 1,05                        |
| Венера   | 0,76  | 0,67                           | 0,98                        |
| Земля    | 1   | 1                              | 1,00                        |
| Марс     | 1,52  | 1,88                           | 0,99                        |
| Юпитер   | 5,2   | 11,86                          | 0,99                        |

Чем меньше радиус-вектор планеты, тем больше длина дуги, тем больше орбитальная скорость движения планеты.



Выполняется закон сохранения энергии.

При удалении планеты от Солнца её потенциальная энергия возрастает, а кинетическая убывает.

Скорость движения убывает.

При приближении планеты к Солнцу её потенциальная энергия уменьшается, соответственно растёт кинетическая энергия.

Скорость орбитального движения растёт.

| Планета  | Расстояние до Солнца, $a$<br>(в астрономических ед.) | Период вращения, $T$<br>(в годах) | Отношение $\frac{a^3}{T^2}$ |
|----------|--|-----------------------------------|-----------------------------|
| Меркурий | 0,30   | 0,16                              | 1,05                        |
| Венера   | 0,76   | 0,67                              | 0,98                        |
| Земля    | 1  | 1                                 | 1,00                        |
| Марс     | 1,52   | 1,88                              | 0,99                        |
| Юпитер   | 5,2  | 11,86                             | 0,99                        |

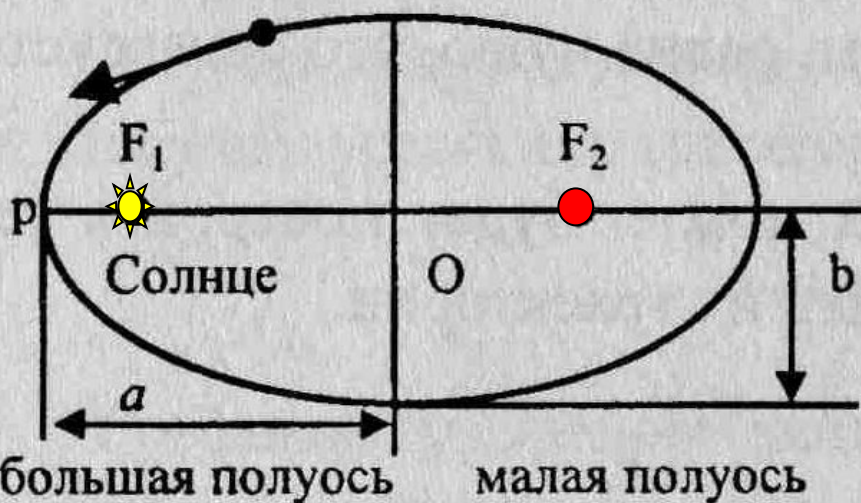
### Третий закон Кеплера:

квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей эллипсов, по которым они движутся.

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

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

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



Ньютон показал также, что третий закон Кеплера не совсем точен — в действительности в него входит и масса планеты:

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

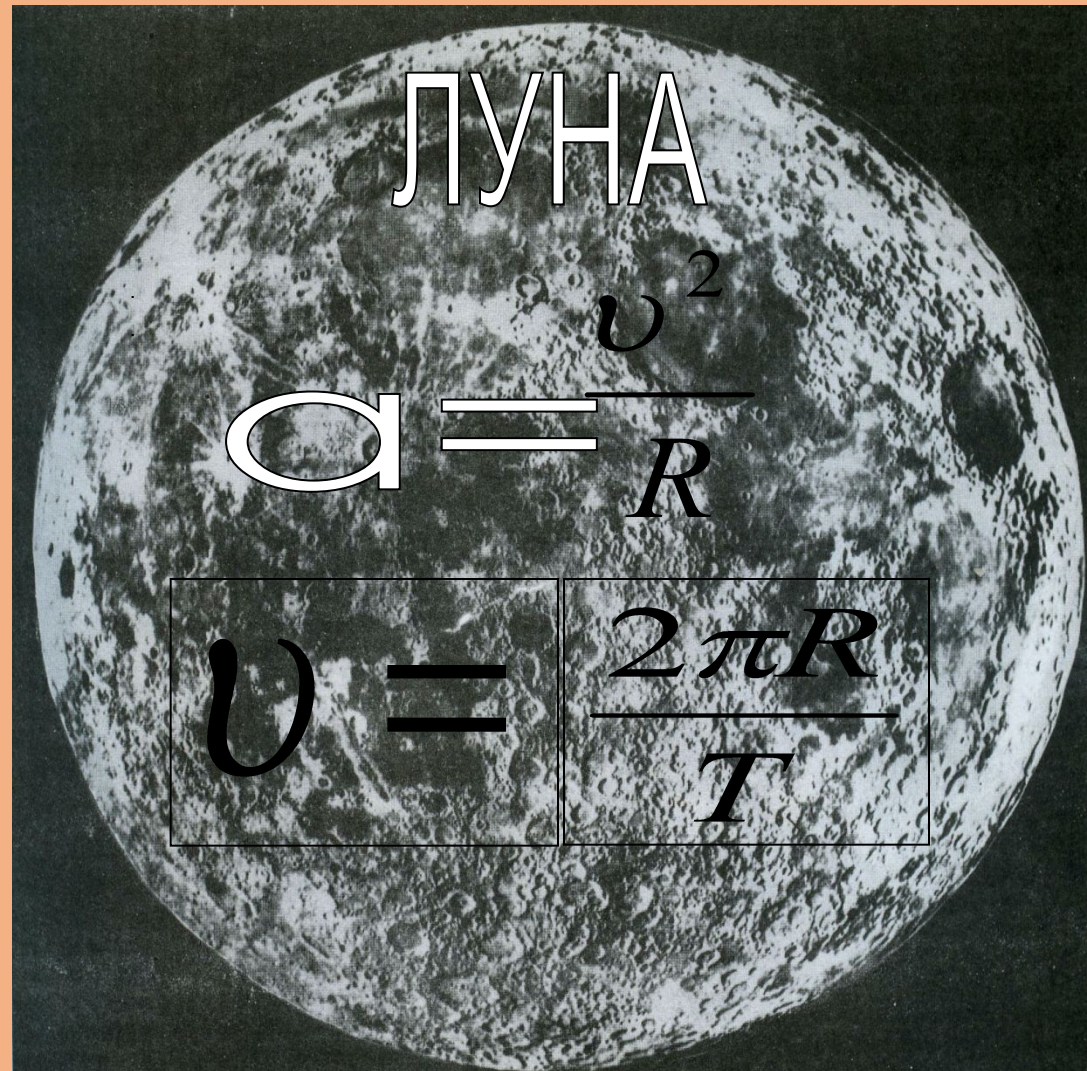
где  $M$  — масса Солнца,  
 $m_1, m_2$  — массы планет.

$$\frac{4\pi^2 R}{T^2} =$$

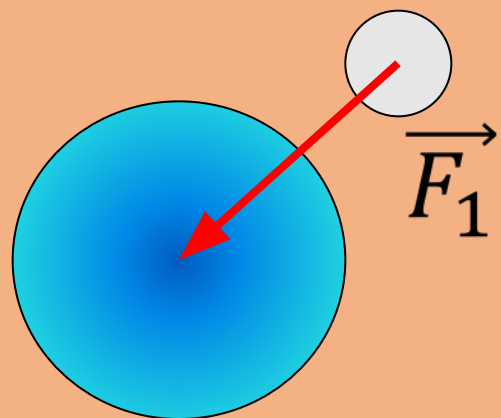
$$= \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 3,85 \cdot 10^8 \text{ м}}{(27,3 \cdot 24 \cdot 3600)^2 c^2} =$$

$$= 0,0027 \frac{\text{м}}{c^2} =$$

$$= 2,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{c^2}$$





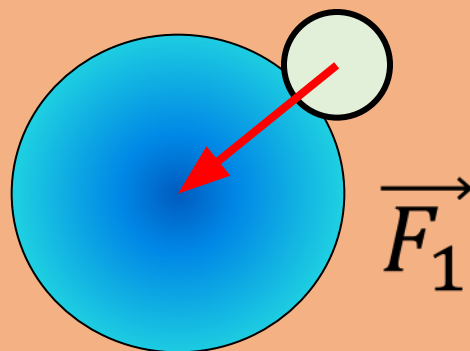


$$F_1 = m_l \cdot a$$

$$F_2 = m_l \cdot g$$

**Из кинематики**

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{m_l g}{m_l a} = \frac{g}{a} =$$



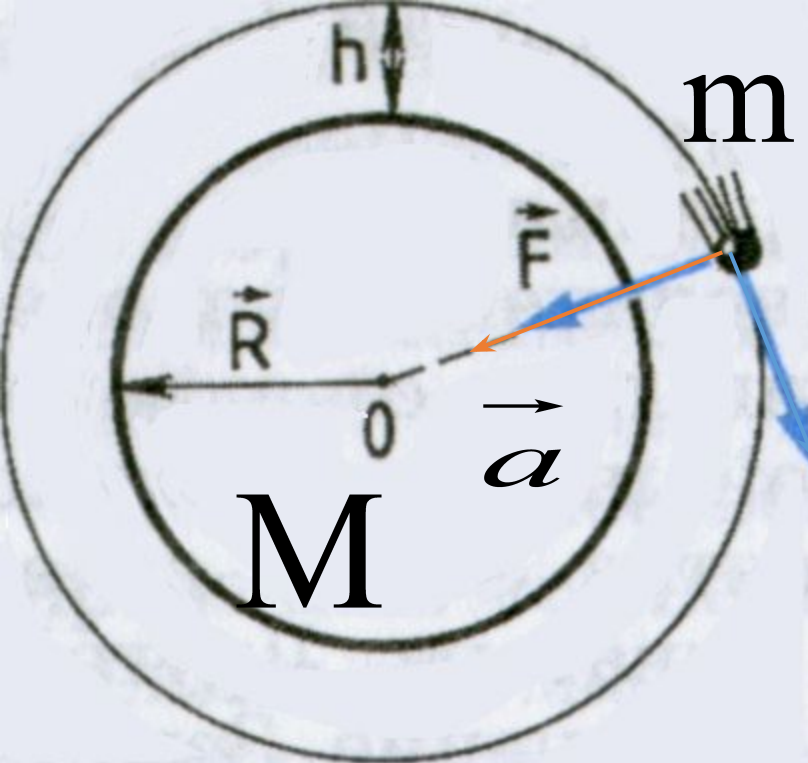
$$= \frac{9,8}{0,0027} = 3600 = 60^2$$

Увеличение расстояния между притягивающими телами в 60 раз приводит к уменьшению ускорения и силы в  $60^2$  раз

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

# ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними



На спутник действует только одна гравитационная сила  $F$ ,  
направленная к центру Земли.

$$a = \frac{v^2}{R + h}$$

$$F = ma = \frac{mv^2}{R + h}$$

$$F = G \frac{Mm}{(R + h)^2}$$

$$F = \frac{mv^2}{R + h}$$

$$G \frac{Mm}{(R + h)^2} = \frac{mv^2}{(R + h)}$$

$$v^2 = G \frac{M}{(R + h)}$$

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R + h}}$$

первая космическая  
(круговая) скорость

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R + h}}$$

первая космическая (круговая) скорость - скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно стало спутником Земли.

Если  $h = 0$  м, то первая космическая скорость для спутника Земли:

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6}}$$

$$v = \sqrt{6,253 \cdot 10^7} = \sqrt{62,53 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м}$$

$$F = mg$$

$$\vec{F}_1 = mg$$

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6}}$$

$$v = \sqrt{6,253 \cdot 10^7} = \sqrt{62,53 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м}$$

первая космическая  
(круговая) скорость

$$\vec{F}_1$$
$$\vec{F}_1$$
$$\vec{F}_1$$
$$\vec{F}_1$$