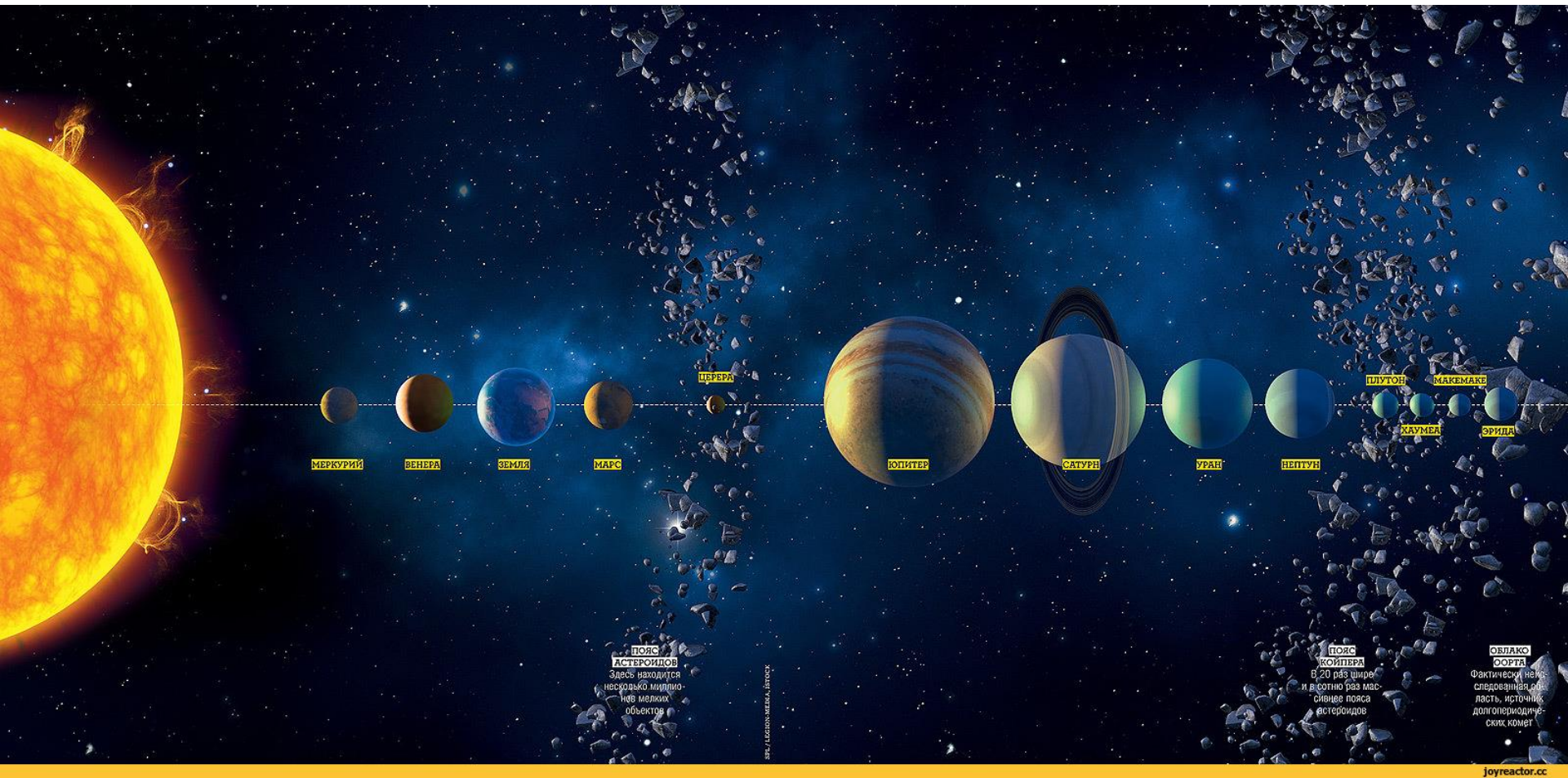


Законы движения планет

12/01/2021

Солнечная система

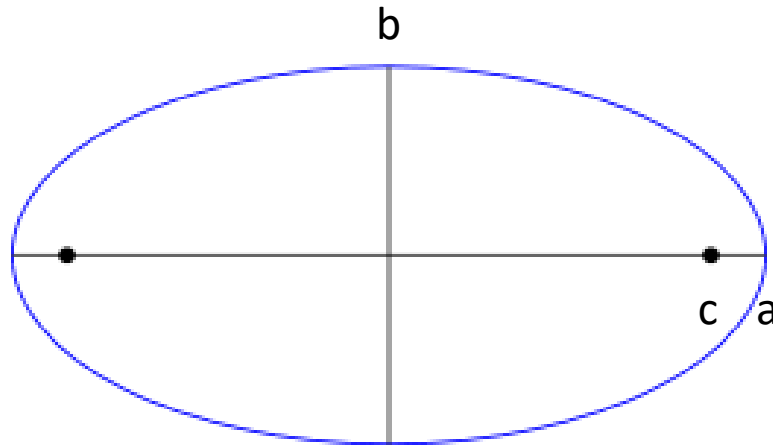


Орбитальные параметры планет Солнечной системы

Планета	Радиус орбиты, 10 ⁹ м	Наклон экватора к орбите, градусы	Период обращения, земные сут
Меркурий	57,9	2 3	88
Венера	108,2	177,3	225
Земля	149,6	23,5	365
Марс	227,9	24,0	687
Юпитер	778,3	3,1	4333
Сатурн	1427,0	26,7	10759
Уран	2869,6	97,9	30685
Нептун	4496,6	29,6	60189

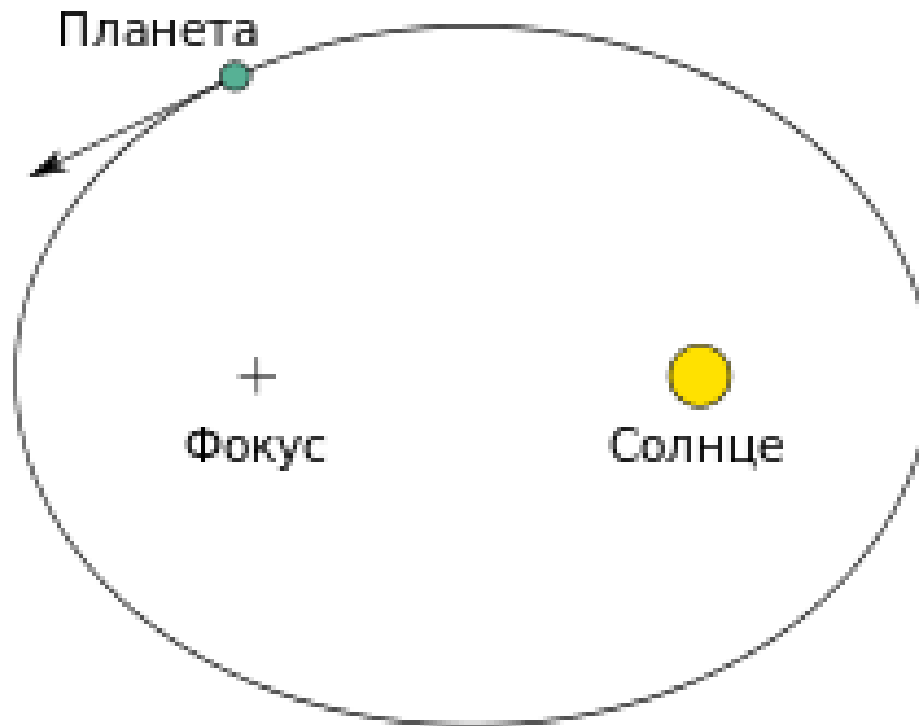
Эллипс

- Каноническое уравнение $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
- Эксцентриситет $e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$



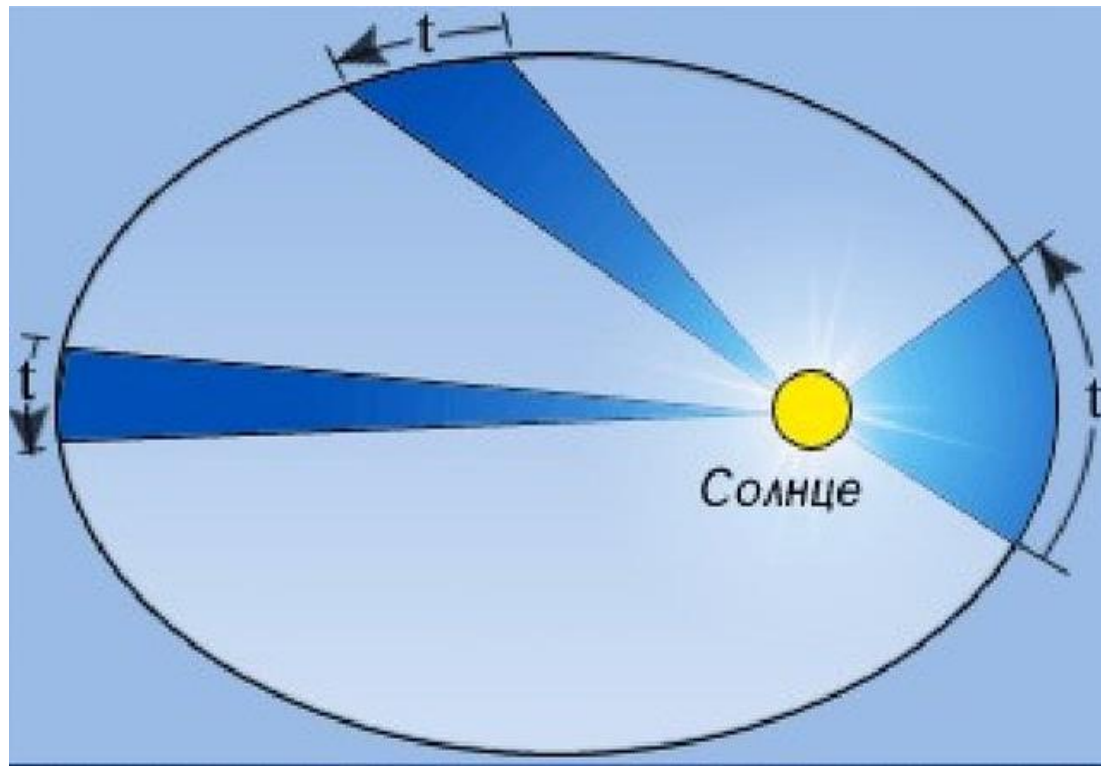
1 закон Кеплера

- Каждая планета Солнечной системы обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.



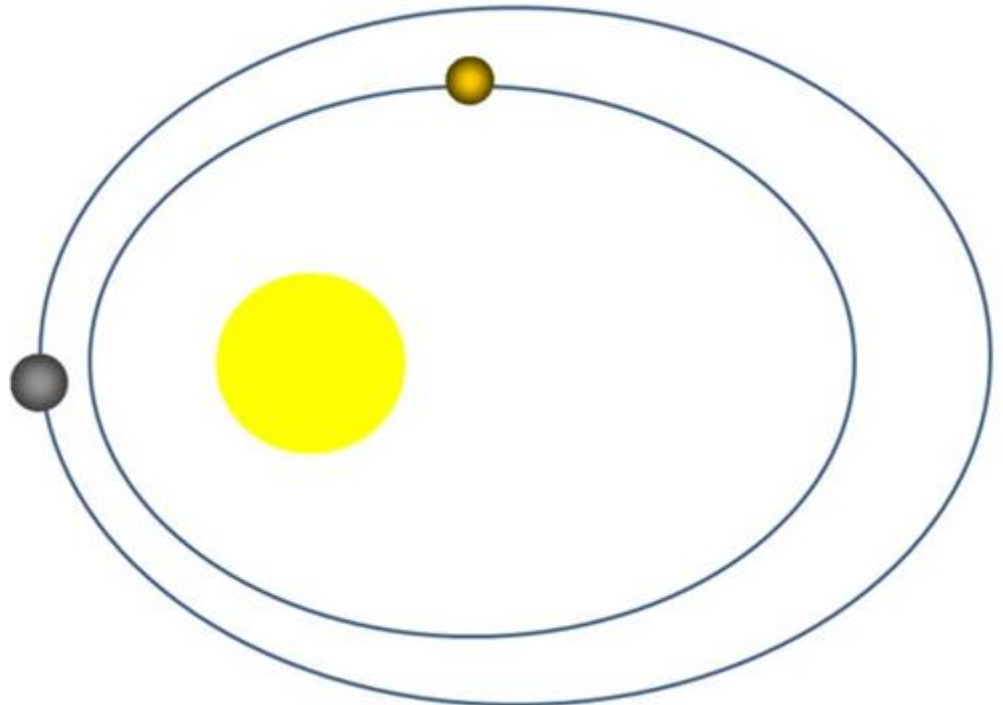
2 закон Кеплера

- За равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает равные площади.



3 закон Кеплера

- Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей орбит планет.
- $\frac{T^2}{a^3} = \text{const}$



3 обобщенный закон Кеплера

$$\frac{T^2(M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G},$$

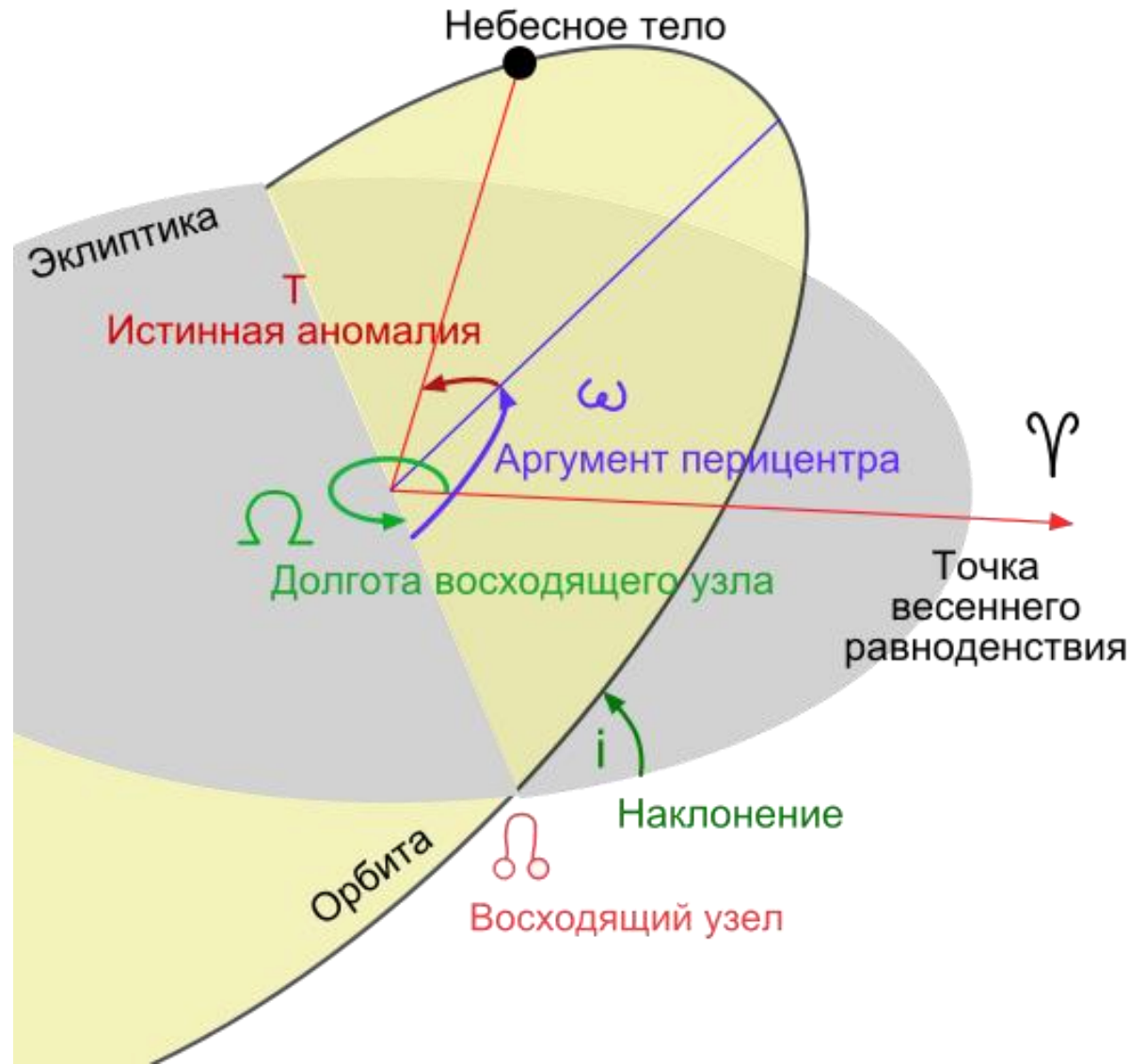
где M – масса Солнца

m – масса планеты

a – большая полуось

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{с}^2 \text{кг}}$ – гравитационная постоянная

Кеплеровы элементы орбиты

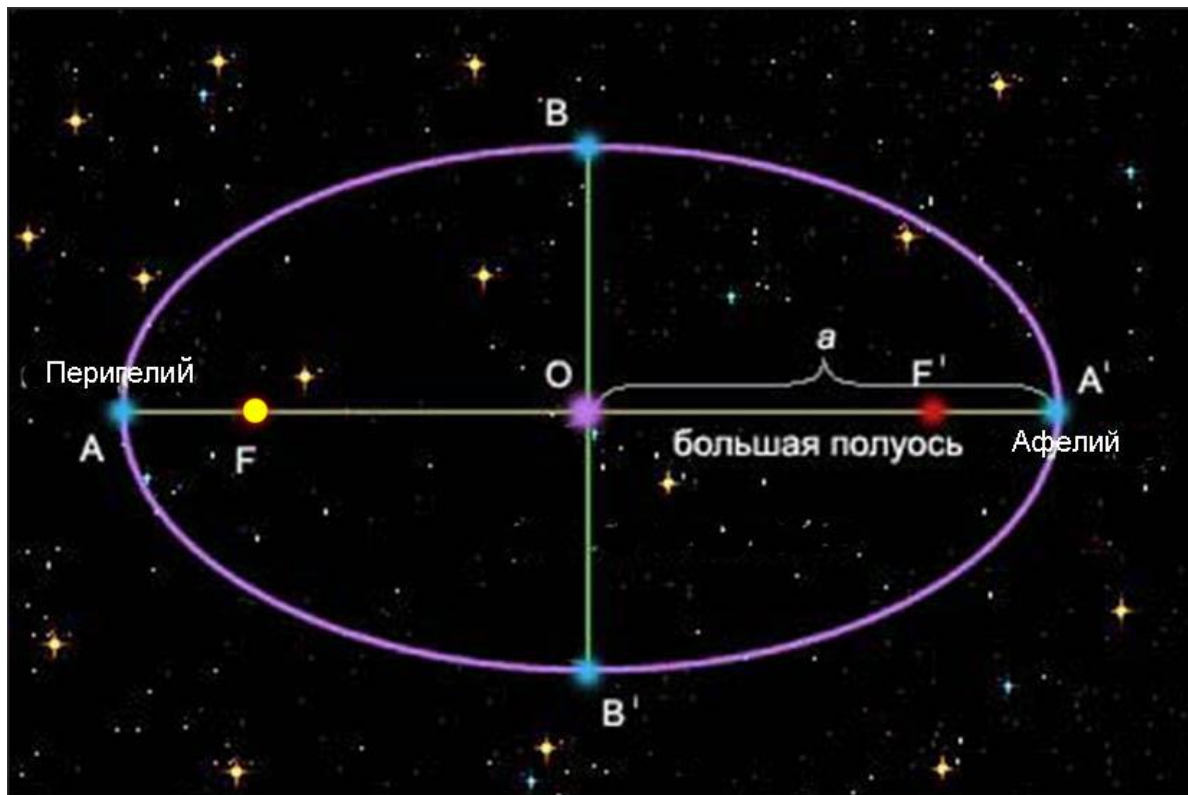


Кеплеровы элементы орбиты

Элемент орбиты	Обозначение	Что определяет
большая полуось	a	Форма орбиты
эксцентриситет	e	Форма орбиты
наклонение	i	Ориентация орбиты относительно эклиптики
долгота восходящего узла	Ω	Ориентация орбиты относительно эклиптики
аргумент перицентра	ω	Ориентация орбиты относительно эклиптики
средняя аномалия	M_0	Положение тела на орбите

Большая полуось (a)

- Среднее расстояние между планетой и звездой

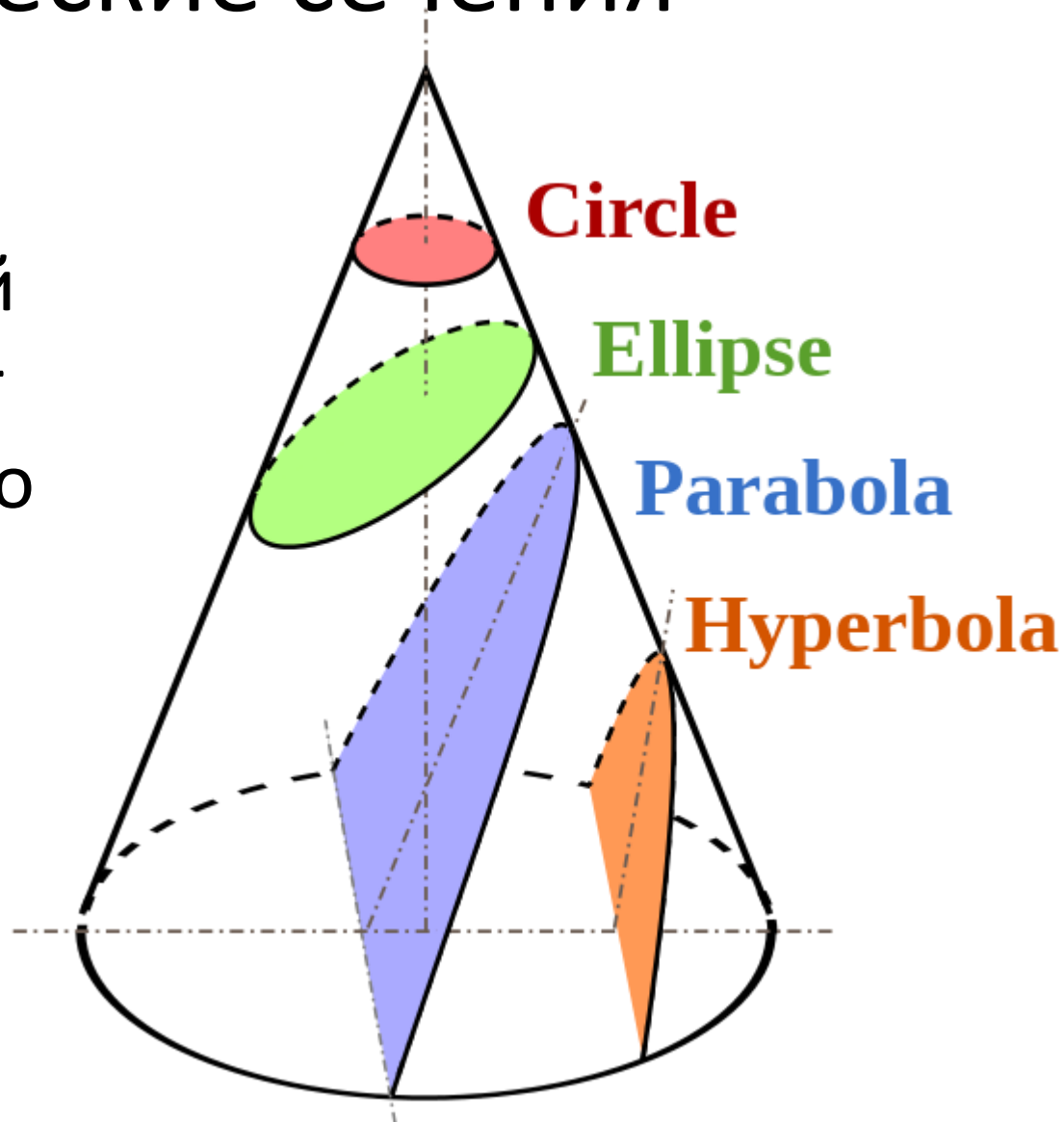


Эксцентриситет (e)

- Эксцентриситет характеризует «сжатость» эллипса.
- В общем случае вид орбиты определяется эксцентриситетом:
 - $e = 0$ — окружность
 - $0 < e < 1$ — эллипс
 - $e = 1$ — парабола
 - $1 < e < \infty$ — гипербола
 - $e = \infty$ — прямая (вырожденный случай)

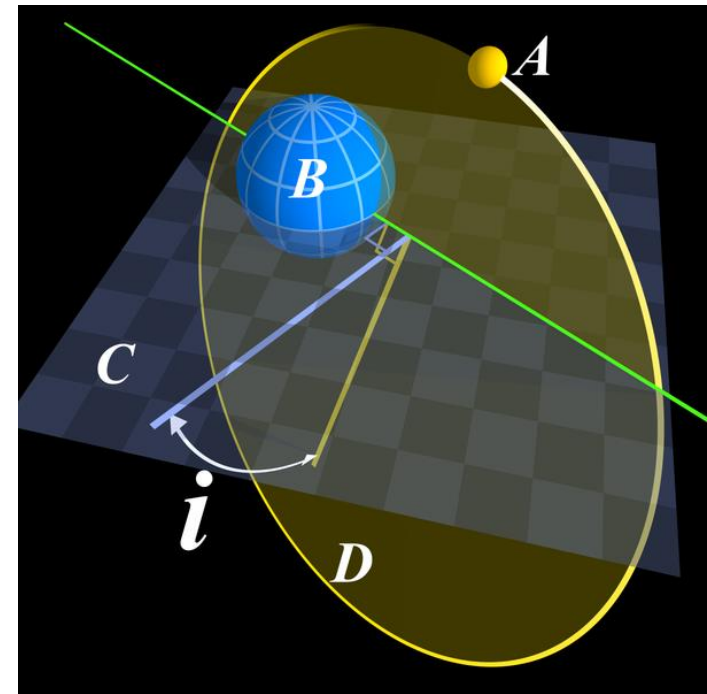
Конические сечения

- под действием гравитационной силы тела могут двигаться только по коническим сечениям



Наклонение (i)

- Угол между плоскостью орбиты и плоскостью отсчёта (например, эклиптикой).
 - Если $0^\circ < i < 90^\circ$, то движение небесного тела называется **прямым**
 - Если $90^\circ < i < 180^\circ$, то движение небесного тела называется **обратным**



Узел орбиты

- **Восходящий узел орбиты** — точка, в которой движущееся по орбите тело пересекает условную плоскость в северном направлении (то есть переходит из южного полушария небесной сферы в северное).
- **Нисходящий узел орбиты** — точка, в которой движущееся по орбите тело пересекает условную плоскость в южном направлении (то есть переходит из северного полушария небесной сферы в южное).

Долгота восходящего узла

- угол в базовой плоскости, образуемый между направлением на нулевую точку и направлением на точку восходящего узла

Аргумент перицентра

- угол между направлениями из притягивающего центра на *восходящий узел* орбиты и на перицентр (или угол между линией узлов и линией апсид)

Средняя аномалия

- угловое расстояние от перицентра гипотетического тела, движущегося с постоянной угловой скоростью, равной среднему движению

- $M = M_0 + n(t - t_0)$

где M_0 — средняя аномалия на эпоху t_0 ,

t_0 — начальная эпоха,

t — эпоха, на которую производятся вычисления,

n — среднее движение.

Уравнение Кеплера

- $M = E - e \sin E$

где E — эксцентрическая аномалия,

e — эксцентриситет.

