Астрономия
26 сентября 2019

1 Уточнения к материалам предыдущего урока

1.1 Правило Тициуса-Боде

Расстояние R_i от Солнца до крупных объектов Солнечной системы (кроме Нептуна) с хорошей точностью описывается формулой $R_i = 0.3 \cdot k_i + 0.4$ а.е., где

	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Пояс астероидов
k_i	0	1	2	4	8

	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон	Эрида
k_i	16	32	64	-	128	256

Правило легко запомнить, так как значения k_i являются степенями числа 2, идущими подряд. При этом следует понимать, что указанная выше формула *эмпирическая*, то есть полученная из наблюдений[1].

1.2 Пояс астероидов

Факт того, что расстояние от Солнца до пояса астероидов с хорошей точностью удовлетворяет правилу Тициуса-Боде, ещё в XVIII веке дал астрономам основания полагать, что между Марсом и Юпитером находится ещё одна планета. Сначала на предсказываемом правилом расстоянии от Солнца была обнаружена Церера (которая сейчас считается карликовой планетой), а позже выяснилось, что на таком же расстоянии от Солнца находится множество тел, формирующих, собственно, пояс астероидов, который, по одной из версий, сформировался в результате разрушения планеты Фаэтон, которая раньше располагалась на этой орбите.

1.3 Первая открытая межзвёздная комета

Кроме астероида 1I/Оумуамуа, который прилетел к нам из межзвёздного пространства, известно также о существовании межзвёздной кометы 2I/Borisov. Она была открыта 30 августа 2019 года российским астрономом Геннадием Борисовым.

1.4 Облако Оорта

Облако Оорта - гипотетическая область Солнечной системы, служащая источником комет с большим периодом обращения. Многие косвенные факты указывают на его существование, но оно пока не подтверждено. Согласно некоторым теориям, внутренняя его граница находится на расстоянии 1000 а.е. от Солнца, внешняя - на 100 000 а.е.

[1] На текущий момент нет физического закона, который бы это правило описывало!

2 Немного геометрии

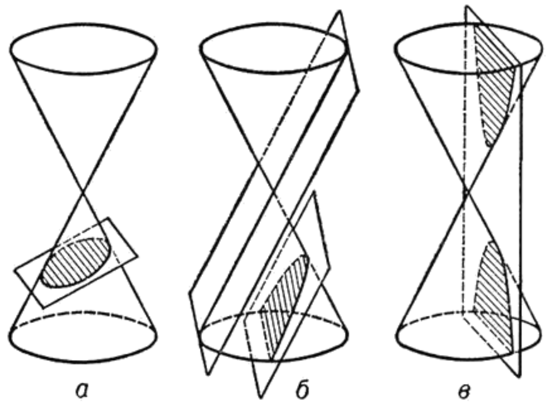

Рис.1. (а) - эллипс, (б) - парабола, (в) - гипербола.

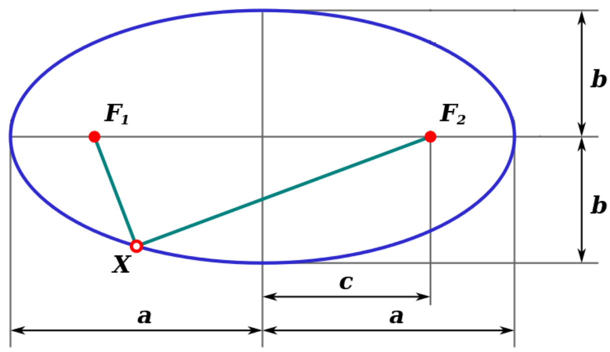

Рис.2. К описанию эллипса.

Сечения конуса плоскостью (см. рисунок слева) могут давать три типа кривых: эллипс, параболу или гиперболу. В силу закона всемирного тяготения и второго закона Ньютона траектория небесного тела в поле тяготения другого, гораздо более массивного тела, может являться одной из трёх описанных выше кривых[2].

Эллипс - геометрическое место точек, для которых сумма расстояний до двух заданных точек - **фокусов** (на рисунке обозначены как F_1 и F_2) - постоянна[3]. **Окружность** является частным случаем эллипса (фокусы совпадают друг с другом и с центром окружности). **Большая и малая полуоси** эллипса - расстояние от центра фокуса до самой дальней и до самой ближней от него точек соответственно (на рисунке обозначены как **a** и **b**). Одной из характеристик эллипса является **эксцентриситет** e, который задаётся формулой

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}.$$

В справедливости этой формулы нетрудно убедиться самостоятельно, мысленно передвинув точку X на рисунке сначала в самую ближнюю, а потом в самую дальнюю к центру эллипса точку и посчитав сумму расстояний от фокусов до неё. Понятно, что для эллипса $e < 1$, для окружности $e = 0$; для других конических сечений также можно определить эксцентриситет (по другим формулам). Для параболы $e = 1$, для гиперболы $e > 1$.

3 Законы Кеплера

Эти законы, подобранные Иоганном Кеплером на основе анализа астрономических наблюдений Тихо Браге, описывают идеализированную[4] гелиоцентрическую[5] орбиту планеты. На самом деле, согласно этим законам двигаются не только планеты вокруг Солнца, но и кометы, астероиды и другие малые тела, а так же спутники (естественные и искусственные) вокруг планет. Вообще, они хорошо описывают движение тела массой m_1 вокруг тела массой m_2 при условии, что m_2 много больше m_1 и вокруг них больше нет никаких сопоставимых с ними по массе тел.

[2]Это не очень трудно показать, используя полярные координаты. Не будем заострять на этом внимание.
[3]То есть сумма длин отрезков F_1X и XF_2 постоянна для любой точки X, лежащей на эллипсе.
[4]В действительности орбита планеты может быть не такой, как описано, а более сложной формы.
[5]То есть с Солнцем в центре.

Первый закон: орбита каждой планеты Солнечной системы - эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Для всех планет (кроме Меркурия и Плутона) эксцентриситет орбиты не превышает 0.1. Это позволяет утверждать[6], что планеты двигаются практически по окружностям, то есть большая полуось примерно равна малой - в этом нетрудно убедиться, подставив 0.1 (или меньшую величину) в формулу выше и выразив из неё соотношение **a** и **b**.

Второй закон: каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, заметает собой равные площади.

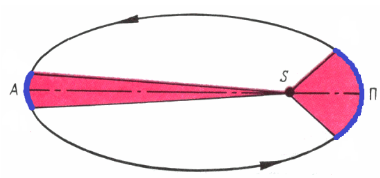

Рис.3. Иллюстрация второго закона Кеплера

С этим законом связаны два понятия: **перигелий** - ближайшая к Солнцу и **афелий** - наиболее удалённая от Солнца точки орбиты. Если говорить о вращении чего-либо по эллипсу вокруг Земли, то используют понятия **перигей** и **апогей**. На рисунке справа площади закрашенных секторов равны. Дуги эллипса, на которые опираются эти сектора (выделены пожирнее) планета проходит за одинаковые промежутки времени. Следовательно, планета движется неравномерно: в афелии её скорость минимальна, в перигелии максимальна. Иногда этот закон формулируют в следующем виде: секториальная скорость планет относительно Солнца постоянна.

Третий закон: квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей орбит планет.

Этот закон можно переформулировать следующим образом: $T^2/a^3 = const$ - величина постоянная, которая определяется только массой Солнца и некоторыми физическими постоянными, то есть указанное отношение одинаково для всех планет. Это упрощает жизнь: если измерять период обращения **T** планеты в земных годах, а длину большой полуоси **a** (которая, как было сказано выше, не сильно отличается от длины малой полуоси и от расстояния между Солнцем и планетой) в астрономических единицах, то $const = 1$ год^2/(а.е.)^3.

Задача. Найдите период обращения Сатурна вокруг Солнца в земных годах.
Решение. Самое простое решение заключается в открытии учебника или соответствующей странички в интернете. Но, предположим, у нас этих возможностей нет. Тогда мы можем воспользоваться двумя описанными ранее принципами, которые помогут нам без труда найти желаемый ответ. Сразу отметим, что высокой точности в решении таких задач не требуется.
Сначала найдём примерное расстояние от Солнца до Сатурна по правилу Тициуса-Боде (как было сказано выше, для него $k_{\text{Сатурна}} = 32$): $R_{\text{Сатурна}} = 0.3 \cdot 32 + 0.4 = 10$ а.е. Не пытаясь угнаться за точностью, скажем, что это и есть длина большой полуоси орбиты Сатурна: $a_{\text{Сатурна}} = 10$ а.е. Теперь подставим полученное значение в третий закон Кеплера:

$$T^2_{\text{Сатурна}} = a^3_{\text{Сатурна}} \frac{\text{год}^2}{\text{а.е.}^3} \Rightarrow T_{\text{Сатурна}} = {a_{\text{Сатурна}}}^{3/2} \text{ лет} = 10^{3/2} \text{ лет} \approx 31.6 \text{ лет}$$

В действительности период обращения Сатурна чуть меньше: примерно 29.5 земных лет. Однако полученный ответ достаточно точный для оценок описанными выше методами.

[6] С достаточно высокой для школьных уроков астрономии точностью.