

ГЛАВА VI

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ

§ 28. Законы Кеплера

Еще в глубокой древности наблюдателями неба было замечено, что в отличие от остальных звезд, сохраняющих почти неизменно в течение столетий свое взаимное расположение, планеты описывают среди звезд сложные траектории петлеобразного типа.

Выразитель взглядов древнегреческой науки на мироздание Клавдий Птолемей считал Землю расположенной в центре вселенной и для объяснения петлеобразного движения планет предположил, что каждая из планет движется по малому кругу (эпициклу), в то время как центр этого эпицикла равномерно движется по второму, большому кругу, в центре которого находится Земля.

Эта птолемеева *геоцентрическая система мира* при поддержке католической церкви господствовала в науке почти полторы тысячи лет.

В самом начале XVI в. польский ученый Николай Коперник в тайне от всех, кроме друзей, приступил к составлению своего знаменитого труда «Об обращении небесных кругов». Этим трудом Коперник ниспроверг птолемееву систему и обосновал *гелиоцентрическую систему*, показав, что астрономические наблюдения просто и точно объясняются движением Земли, как и других планет, вокруг Солнца и суточным вращением Земли.

Только к концу жизни, после долгих колебаний и опасений, что его теория покажется невероятной и вызовет преследования со стороны церкви, Коперник решился опубликовать свой труд.

Коперник умер в 1543 г. После его смерти в течение еще многих десятилетий самые образованные люди смотрели на теорию Коперника как на занимательную фантазию, а церковь, поняв антирелигиозное значение системы Коперника, жестоко обрушилась на немногочисленных его последователей.

В начале XVII в. Иоганн Кеплер после почти двадцатилетних вычислений установил законы истинного движения планет. Эти

законы он сформулировал следующим образом (первые два в 1609 г., третий в 1619 г.).

Первый закон Кеплера: планеты обращаются вокруг Солнца по плоским кривым, представляющим собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Второй закон Кеплера: радиус-вектор данной планеты в равные времена описывает равные площади, или, иначе, секториальная скорость данной планеты есть величина постоянная.

Рисунок 44 графически поясняет кеплеров закон площадей. Следует, однако, иметь в виду, что эллиптические орбиты планет в действительности несравненно меньше отличаются от окружностей, чем эллипс, изображенный на рис. 44.

Третий закон Кеплера: квадраты сидерических времен¹⁾ обращения планет вокруг Солнца пропорциональны кубам больших полуосей их орбит.

Уже в первом своем сочинении («Новая астрономия», 1609) Кеплер высказал соображения о существовании всеобщего тяготения тел. Аналогичные соображения были высказаны французским математиком П. Ферма. В шестидесятых и семидесятых годах XVII в. Борелли и вслед за ним Роберт Гук пытались вычислить силу тяготения и исследовать, как она зависит от расстояния между телами (Барелли в 1666 г.— по движению спутников Юпитера, Гук в 1674 г.— по зависимости веса от высоты местности; эту зависимость Гук пробовал, но без успеха, определить экспериментально).

В 1684—1686 гг. Ньютон с полной строгостью показал, что из совокупности законов Кеплера и второго закона динамики можно (не делая никаких дополнительных предположений) вывести, что планеты притягиваются Солнцем *порпорционально массам планет и обратно пропорционально квадратам расстояний от Солнца*. Далее Ньютон показал, что те же самые кеплеровы законы управляют движением спутников Юпитера и Сатурна вокруг этих планет. Это и дало Ньютону основание сделать заключение, что закон

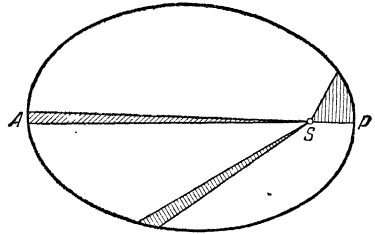


Рис. 44. Планеты обращаются вокруг Солнца так, что линия, проведенная от Солнца к планете, описывает равные площади в равные промежутки времени. *P* — перигелий, *A* — афелий.

¹⁾ Сидерическим, или звездным, периодом обращения планеты называется продолжительность полного оборота планеты вокруг Солнца в отличие от синодического периода обращения — промежутка времени между двумя одинаковыми конфигурациями планеты и Земли.

тяготения имеет всеобщую приложимость. Свое обобщение законов Кеплера в законе тяготения Ньютон испытал, вычислив движение комет и движение Луны вокруг Земли, осложняемое воздействием Солнца на Луну ¹⁾.

§ 29. Ньютонов закон тяготения

Ньютонов закон всемирного тяготения состоит в следующем:

Между всякими двумя материальными частицами действует сила взаимного тяготения, прямо пропорциональная массам обеих частиц (иначе говоря, пропорциональная произведению этих масс) и обратно пропорциональная квадрату расстояния между этими частицами. Так, если m и m' — массы двух частиц, находящихся на расстоянии r друг от друга, то сила их взаимного тяготения F выражается формулой

$$F = f \frac{mm'}{r^2}, \quad (1)$$

где f есть постоянная величина, зависящая по числовому значению от выбора единиц, в которых выражаются величины, входящие в формулу. Величина f носит название *гравитационной ²⁾ постоянной*. Если массы m и m' измерены в граммах, а расстояние r — в сантиметрах, то $f = 6,67 \cdot 10^{-8}$ (1 г массы притягивает 1 г массы на расстоянии 1 см с силой $6,67 \cdot 10^{-8}$ дин). Гравитационная постоянная f

¹⁾ Если бы планеты двигались по окружностям, а не по эллипсам, то из одного третьего закона Кеплера сразу можно было бы заключить, что планеты тяготеют к Солнцу обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца. Действительно, обозначая радиусы орбит двух планет через r_1 и r_2 , окружные скорости планет через v_1 и v_2 , центростремительные ускорения через j_1 и j_2 , времена обращения через T_1 и T_2 , центростремительные силы через F_1 и F_2 , имеем:

$$v_1 = \frac{2\pi r_1}{T_1}, \quad j_1 = \frac{v_1^2}{r_1} = \frac{4\pi^2 r_1}{T_1^2}$$

и аналогичные соотношения для v_2 и j_2 . Следовательно,

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{\left(\frac{F_1}{m_1}\right)}{\left(\frac{F_2}{m_2}\right)} = \frac{r_1}{T_1^2} : \frac{r_2}{T_2^2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right).$$

По третьему закону Кеплера квадраты времен обращения двух планет относятся, как кубы их расстояний: $\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3$. Стало быть, $\frac{(F_1/m_1)}{(F_2/m_2)} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$, откуда

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{r_1^2} \cdot \frac{m_2}{r_2^2}.$$

²⁾ От латинского *gravitas* — т я ж е с т ь.