



III. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Солнечная система включает в себя Солнце и все физические тела, обращающиеся вокруг него, с системами своих спутников. В состав Солнечной системы входят восемь больших планет, включая Землю.

Кроме больших планет со спутниками, вокруг Солнца обращаются карликовые (малые) планеты, которые по диаметру меньше Луны, и огромное число малых тел Солнечной системы. Даже наиболее крупные из них не превышают по размеру 1000 км, а ядра самых заметных комет — ещё меньше. Вокруг Солнца движутся также тела размером в десятки и сотни метров, глыбы и камни, множество мелких камешков и пылинок. Чем меньше размеры этих частиц, тем их самих больше. Межпланетная среда — это крайне разреженный газ, состояние которого определяется излучением Солнца и растекающимися от него потоками вещества.

Движением всех больших и малых тел Солнечной системы управляет Солнце, масса которого в 333 тыс. раз превышает массу Земли и в 750 раз суммарную массу всех планет.

§ 10. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРОЕНИИ МИРА

1. Геоцентрическая система мира

Путь к пониманию положения нашей планеты и живущего на ней человечества во Вселенной был очень непростым и подчас весьма драматичным. В древности было естественным считать, что Земля является неподвижной, плоской и находится в центре мира. Казалось, что вообще весь мир создан

ради человека. Подобные представления получили название *антропоцентризма* (от греч. *antropos* — человек).

Многие идеи и мысли, которые в дальнейшем отразились в современных научных представлениях о природе, в частности в астрономии, зародились в Древней Греции, ещё за несколько веков до нашей эры. Трудно перечислить имена всех мыслителей и их гениальные догадки. Выдающийся математик *Пифагор* (VI в. до н. э.) был убеждён, что «в мире правит число». Считается, что именно Пифагор первым высказал мысль о том, что Земля, как и все другие небесные тела, имеет шарообразную форму и находится во Вселенной без всякой опоры.

Другой не менее известный учёный древности, *Демокрит* — основоположник представлений об атомах, живший за 400 лет до нашей эры, — считал, что Солнце во много раз больше Земли, что Луна сама не светится, а лишь отражает солнечный свет, а Млечный Путь состоит из огромного количества звёзд.

Обобщить все знания, которые были накоплены к IV в. до н. э., смог выдающийся философ античного мира *Аристотель* (384—322 до н. э.). Его деятельность охватывала все естественные науки — сведения о небе и Земле, о закономерностях движения тел, о животных и растениях и т. д. Главной заслугой Аристотеля как учёного-энциклопедиста было создание единой системы научных знаний.

На протяжении почти двух тысячелетий его суждения по многим вопросам не подвергались сомнению.

Согласно Аристотелю, всё тяжёлое стремится к центру Вселенной, где скапливается и образует шарообразную массу — Землю. Планеты размещены на особых сферах, которые вращаются вокруг Земли. Такая система мира получила название *геоцентрической* (от греческого названия Земли — Гея). Аристотель не случайно предложил считать Землю неподвижным центром мира. Если бы Земля перемещалась, то, по справедливому мнению Аристотеля, было бы заметно регулярное изменение взаимного расположения звёзд на небесной сфере. Но ничего подобного никто из астрономов не наблюдал. Только в начале XIX в. было наконец-то обнаружено и измерено смещение звёзд (*параллакс*), происходящее вследствие движения Земли вокруг Солнца.

Многие обобщения Аристотеля были основаны на таких умозаключениях, которые в то время не могли быть провере-

ны опытом. Так, он утверждал, что движение тела не может происходить, если на него не действует сила. Как вы знаете из курса физики, эти представления были опровергнуты только в XVII в. во времена Галилея и Ньютона.

Среди учёных древности выделяется смелостью своих догадок **Аристарх Самосский**, живший в III в. до н. э. Он первым определил расстояние до Луны, вычислил размеры Солнца, которое, по его данным, оказалось в 300 с лишним раз больше Земли по объёму. Вероятно, эти данные стали одним из оснований для вывода о том, что Земля вместе с другими планетами движется вокруг этого самого крупного тела. В наши дни Аристарха Самосского стали называть «Коперником античного мира».

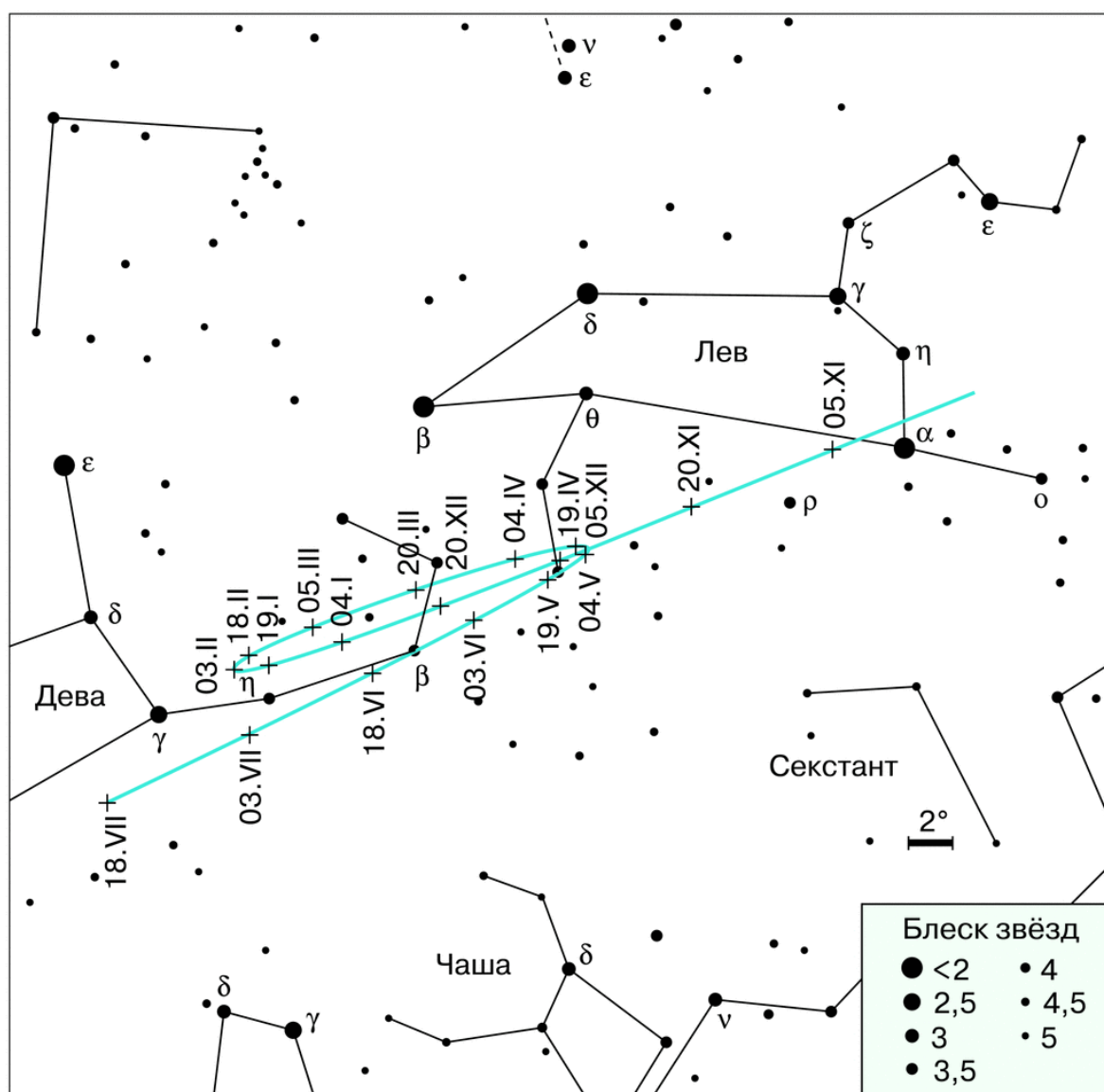


Рис. 3.1. Видимое петлеобразное движение Марса

К сожалению, труды этого замечательного учёного до нас практически не дошли, и более полутора тысяч лет человечество было уверено, что Земля — это неподвижный центр мира. В немалой степени этому способствовало математическое описание видимого движения светил, которое во II в. н. э. разработал для геоцентрической системы мира один из выдающихся математиков древности — **Клавдий Птолемей**. Наиболее сложной задачей оказалось объяснение петлеобразного движения планет (рис. 3.1).

Птолемей в своём знаменитом сочинении «Математический трактат по астрономии» (оно более известно как «Альмагест») утверждал, что каждая планета равномерно движется по *эпициклу* — малому кругу, центр которого движется вокруг Земли по *деференту* — большому кругу (рис. 3.2). Тем самым ему удалось объяснить особый характер движения планет, которым они отличались от Солнца и Луны. Система Птолемея давала чисто кинематическое описание движения планет — иного наука того времени предложить не могла.



Рис. 3.2. Система Птолемея

2. Гелиоцентрическая система мира

Вы уже убедились, что использование модели небесной сферы при описании движения Солнца, Луны и звёзд позволяет вести многие полезные для практических целей расчёты, хотя реально такой сферы не существует. То же справедливо и в отношении эпициклов и деферентов, на основе которых можно с определённой степенью точности рассчитывать положение планет. Однако с течением времени требования к точности этих расчётов постоянно возрастали, приходилось добавлять всё новые и новые эпициклы для каждой планеты.

Рис. 3.3.
Положения
Земли
и Марса
на орбитах



тверждение и развитие в трудах таких выдающихся учёных, как *Галилео Галилей* (1564—1642) и *Иоганн Кеплер* (1571—1630).

Галилей, одним из первых направивший телескоп на небо, истолковал сделанные при этом открытия как доводы в пользу теории Коперника. Открыв смену фаз Венеры, он пришёл к выводу, что такая их последовательность может наблюдаться только в случае её обращения вокруг Солнца. Обнаруженные им четыре спутника планеты Юпитер также опровергали представления о том, что Земля является единственным в мире центром, вокруг которого может происходить вращение других тел. Галилей не только увидел горы на Луне, но даже измерил их высоту. Наряду с несколькими другими учёными он также наблюдал пятна на Солнце и заметил их перемещение по солнечному диску. На этом основании он заключил, что Солнце вращается и, следовательно, имеет такое движение, которое Коперник приписывал нашей планете. Так был сделан вывод о том, что Солнце и Луна имеют определённое сходство с Землёй. Наконец, наблюдая в Млечном Пути и вне его множество слабых звёзд, недоступных невооружённому глазу, Галилей сделал вывод о том, что расстояния до звёзд различны и никакой «сферы непо-

движных звёзд» не существует. Все эти открытия стали новым этапом в осознании положения Земли во Вселенной.



Вопросы 1. В чём отличие системы Коперника от системы Птолемея? 2. Какие выводы в пользу гелиоцентрической системы Коперника следовали из открытий, сделанных с помощью телескопа?

§ 11. КОНФИГУРАЦИЯ ПЛАНЕТ. СИНОДИЧЕСКИЙ ПЕРИОД

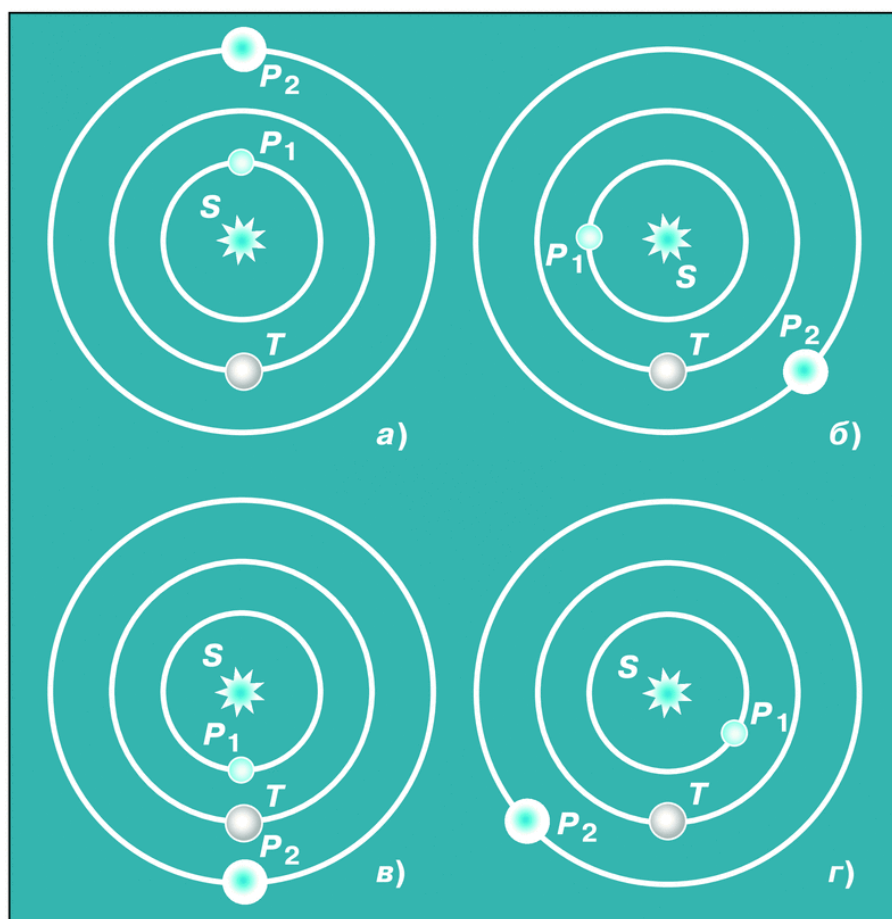
1. Конфигурация планет и условия их видимости

Условия видимости планет¹ меняются по-разному: если Меркурий и Венеру можно видеть только утром или вечером, то остальные — Марс, Юпитер и Сатурн — бывают видны также и ночью. По временам одна или несколько планет могут быть вовсе не видны, поскольку они располагаются на небе поблизости от Солнца. В этом случае говорят, что планета находится в *соединении* с Солнцем. Если же планета располагается на небе вблизи точки, диаметрально противоположной Солнцу, то она находится в *противостоянии*. В этом случае планета появляется над горизонтом в то время, когда Солнце заходит, а заходит она одновременно с восходом Солнца. Следовательно, всю ночь планета находится над горизонтом.

Соединение и противостояние, а также другие характерные расположения планеты относительно Солнца называются *конфигурациями*. Внутренние планеты (Меркурий и Венера), которые всегда находятся внутри земной орбиты, и внешние, которые движутся вне её (все остальные планеты), меняют свои конфигурации по-разному. Названия различных конфигураций внутренних и внешних планет, которые харак-

¹ Подробные сведения о положении планет и условиях их видимости даются в «Школьном астрономическом календаре» на каждый учебный год. Эту информацию можно найти и в Интернете.

Рис. 3.4.
Конфигурации
внутренней
и внешней
планеты



теризуют расположение планеты относительно Солнца на небе, приведены в таблице и на рисунке 3.4.

Рисунок	Внутренняя планета	Внешняя планета
3.4, а	Верхнее соединение	Верхнее соединение
3.4, б	Восточная элонгация	Западная квадратура
3.4, в	Нижнее соединение	Противостояние
3.4, г	Западная элонгация	Восточная квадратура

Ясно, что условия видимости планеты в той или иной конфигурации зависят от её расположения по отношению к Солнцу, которое планету освещает, и Земли, с которой мы её наблюдаем. На рисунке 3.4 показано, каково при различных конфигурациях взаимное расположение Земли T , планет P_1 , P_2 и Солнца S в пространстве.

Единственной конфигурацией, в которой может находиться любая планета, независимо от того, внутренняя она или внешняя, является *верхнее соединение*. В этом случае она находится на линии, соединяющей центры Солнца, Земли и планеты, за Солнцем — «выше» него. Поэтому Солнце, рядом с которым планета находится на небе, не даёт возможности её увидеть. У внешних планет соединение может быть только верхним, поэтому для них такую конфигурацию часто называют просто соединением. Внутренняя планета может оказаться между Солнцем и Землёй, и тогда говорят о её *нижнем соединении* с Солнцем.

Внешняя планета может находиться на любом угловом расстоянии от Солнца (от 0 до 180°). Когда оно составляет 90°, то говорят, что планета находится в *квадратуре*. Для внутренних планет максимально возможное угловое удаление от Солнца (в *элонгации*) невелико: для Венеры — до 47°, а для Меркурия — всего 28°.

2. Синодический и сидерический периоды обращения планет

Конфигурации планеты периодически повторяются.

Промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными конфигурациями планеты (например, верхними соединениями) называется её синодическим периодом.

Ещё в глубокой древности, когда считалось, что планеты обращаются вокруг Земли, для каждой из них на основе многолетних наблюдений был определён синодический период обращения.

Согласно гелиоцентрической системе, сама Земля обращается вокруг Солнца с периодом, равным году. Это её движение необходимо учитывать, чтобы узнать периоды обращения планет в невращающейся инерциальной системе отсчёта, или, как принято говорить, по отношению к звёздам.

Период обращения планеты вокруг Солнца по отношению к звёздам называется звёздным (или сидерическим) периодом.

Очевидно, что по своей продолжительности синодический период планеты не совпадает ни с её сидерическим периодом, ни с годом, который является звёздным периодом обращения Земли.

Рассмотрим, как связан синодический период планеты со звёздными периодами Земли и самой планеты. Чем ближе планета к Солнцу, тем быстрее она совершает свой оборот вокруг него. Пусть звёздный период обращения внешней планеты равен P , звёздный период Земли — T ($T < P$), а синодический период — S . Тогда угловые скорости их движения по орбитам будут равны соответственно $360^\circ/P$ и $360^\circ/T$. От момента какой-либо конфигурации (например, противостояния) до следующей такой же конфигурации планета пройдёт дугу своей орбиты, равную $\frac{360^\circ}{P} \cdot S$. За этот же промежуток времени (за синодический период) Земля пройдёт дугу на 360° большую, которая равна $\frac{360^\circ}{T} \cdot S$. Тогда:

$$\frac{360^\circ}{T} \cdot S - \frac{360^\circ}{P} \cdot S = 360^\circ,$$

или

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{P} = \frac{1}{S}.$$

Почти такой же будет формула для внутренней планеты:

$$\frac{1}{P} - \frac{1}{T} = \frac{1}{S}.$$

Следовательно, зная синодический период планеты, можно вычислить её звёздный период обращения вокруг Солнца.



ВОПРОСЫ 1. Что называется конфигурацией планеты? 2. Какие планеты считаются внутренними, какие — внешними? 3. В какой конфигурации может находиться любая планета? 4. Какие планеты могут находиться в противостоянии? Какие — не могут? 5. Назовите планеты, которые могут наблюдаться рядом с Луной во время её полнолуния.



УПРАЖНЕНИЕ 9 1. Нарисуйте, как будут располагаться на своих орбитах Земля и планета: а) Меркурий — в нижнем соединении; б) Венера — в верхнем соединении; в) Юпитер — в противостоянии; г) Сатурн — в верхнем соединении. 2. В какое время суток (утром или вечером) будет видна Венера, если она расположена так, как показано на рисунке 3.4, *г*? 3. Сравните условия видимости Марса в положениях, показанных на рисунках 3.4, *в* и 3.4, *а*. 4. Оцените, сколько примерно времени и когда (утром или вечером) может наблюдаться Венера, если

она удалена к востоку от Солнца на 45° . **5.** Через какой промежуток времени встречаются на циферблате часов минутная и часовая стрелки? **6.** Звёздный период обращения Юпитера равен 12 годам. Через какой промежуток времени повторяются его противостояния?

§ 12. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Важную роль в формировании представлений о строении Солнечной системы сыграли также законы движения планет, которые были открыты Иоганном Кеплером и стали первыми естественно-научными законами в их современном понимании. Работы Кеплера создали возможность для обобщения знаний по механике той эпохи в виде законов динамики и закона всемирного тяготения, сформулированных позднее Исааком Ньютоном. Многие учёные вплоть до начала XVII в. считали, что движение небесных тел должно быть равномерным и происходить по «самой совершенной» кривой — окружности. Лишь Кеплеру удалось преодолеть этот предрассудок и установить действительную форму планетных орбит, а также закономерность изменения скорости движения планет при их обращении вокруг Солнца.



Иоганн Кеплер

В своих поисках Кеплер исходил из убеждения, что «в мире правит число», высказанного ещё Пифагором. Он искал соотношения между различными величинами, характеризующими движение планет, — размеры орбит, период обращения, скорость. Кеплер действовал фактически вслепую, чисто эмпирически. Он пытался сопоставить характеристики движения планет с закономерностями музыкальной гаммы, длиной сторон описанных и вписанных в орбиты планет многоугольников и т. д.

Кеплеру необходимо было построить орбиты планет, перейти от экваториальной системы координат, указывающих положение планеты на небесной сфере, к системе координат, указывающих её положение в плоскости орбиты. Он воспользовался при этом собственными наблюдениями планеты Марс, а также многолетними определениями координат и конфигураций этой планеты, проведёнными его учителем *Тихо Браге*.

Орбиту Земли Кеплер считал (в первом приближении) окружностью, что не противоречило наблюдениям. Чтобы построить орбиту Марса, он применил способ, который показан на рисунке 3.5.

Пусть нам известно угловое расстояние Марса от точки весеннего равноденствия во время одного из противостояний планеты — его прямое восхождение α_1 , которое выражается углом $\sphericalangle T_1 M_1$, где T_1 — положение Земли на орбите в этот момент, а M_1 — положение Марса. Очевидно, что спустя 687 суток (таков звёздный период обращения Марса) планета придёт в ту же точку своей орбиты. Если определить прямое восхождение Марса на эту дату, то, как видно из рисунка 3.5, можно указать положение планеты в пространстве, точнее, в плоскости её орбиты. Земля в этот момент находится в точке T_2 , и, следовательно, угол $\sphericalangle T_2 M_1$ есть не что иное, как прямое восхождение Марса — α_2 . Повторив подобные операции для нескольких других противостояний Марса, Кеплер получил ещё целый ряд точек и, проведя по ним плавную кривую, построил орбиту этой планеты.

Изучив расположение полученных точек, он обнаружил, что скорость движения планеты по орбите меняется, но при этом

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

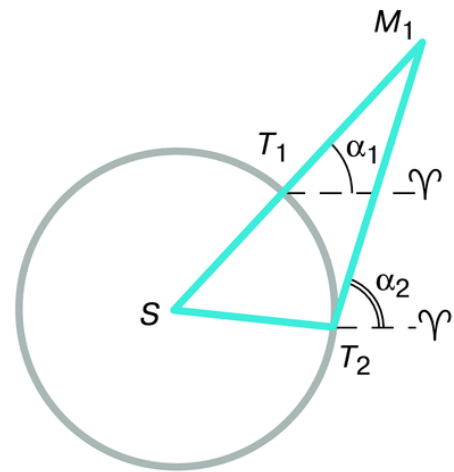


Рис. 3.5. Построение орбиты Марса Кеплером

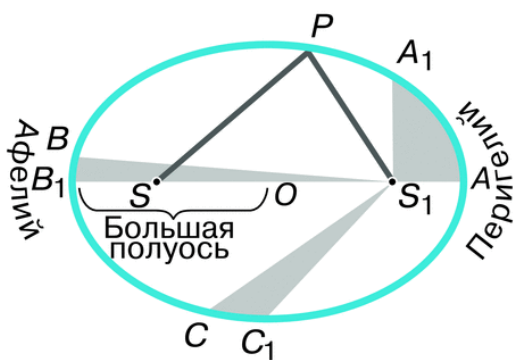


Рис. 3.6. Второй закон Кеплера

Впоследствии эта закономерность получила название **второго закона Кеплера**.

Этот закон, который часто называют законом площадей, иллюстрируется рисунком 3.6. Радиусом-вектором называют в данном случае переменный по своей величине отрезок, соединяющий Солнце и ту точку орбиты, в которой находится

планета. AA_1 , BB_1 и CC_1 — дуги, которые проходит планета за равные промежутки времени. Площади заштрихованных фигур равны между собой.

Согласно закону сохранения энергии, полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют силы тяготения, остаётся неизменной при любых движениях тел этой системы. Поэтому сумма кинетической и потенциальной энергий планеты, которая движется вокруг Солнца, неизменна во всех точках орбиты и равна полной энергии. По мере приближения планеты к Солнцу возрастает её скорость — увеличивается кинетическая энергия, но вследствие уменьшения расстояния до Солнца уменьшается энергия потенциальная.

Установив закономерность изменения скорости движения планет, Кеплер задался целью определить, по какой кривой происходит их обращение вокруг Солнца. Он был поставлен перед необходимостью сделать выбор одного из двух возможных решений: 1) считать, что орбита Марса представляет собой окружность, и допустить, что на некоторых участках орбиты вычисленные координаты планеты расходятся с наблюдениями (из-за ошибок наблюдений) на $8'$; 2) считать, что наблюдения таких ошибок не содержат, а орбита не является окружностью. Будучи уверенным в точности наблюдений Тихо Браге, Кеплер выбрал второе решение и установил, что наилучшим образом положения Марса на орбите совпадают с кривой, которая называется *эллипсом*, при этом Солнце не располагается в центре эллипса. В результате был сформулирован закон, который называется **первым законом Кеплера**.

Каждая планета обращается вокруг Солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

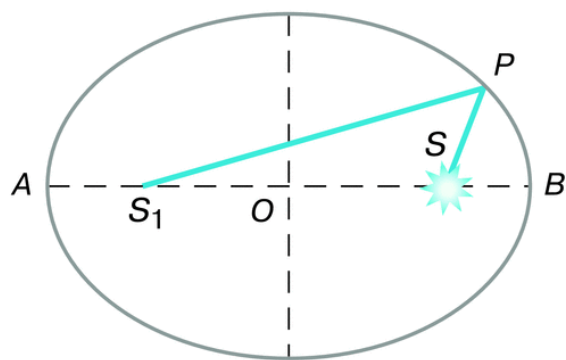


Рис. 3.7. Свойства эллипса

Как известно, эллипсом называется кривая, у которой сумма расстояний от любой точки P до его фокусов есть величина постоянная. На рисунках 3.6 и 3.7 обозначены: O — центр эллипса; S и S_1 — фокусы эллипса; AB — его большая ось. Половина этой величины (a), которую обычно называют **большой полуосью**, характеризует размер орбиты планеты. Ближайшая к Солнцу точка A называется **перигелий**, а наиболее удалённая от него точка B — **афелий**. Отличие эллипса от окружности характеризуется величиной его эксцентриситета: $e = OS/OA$. В том случае, когда эксцентриситет равен 0, фокусы и центр сливаются в одну точку — эллипс превращается в окружность.

Примечательно, что книга, в которой в 1609 г. Кеплер опубликовал первые два открытых им закона, называлась «Новая астрономия, или Физика небес, изложенная в исследованиях движения планеты Марс...».

Оба этих закона, опубликованные в 1609 г., раскрывают характер движения каждой планеты в отдельности, что не удовлетворило Кеплера. Он продолжил поиски «гармонии» в движении всех планет, и спустя 10 лет ему удалось сформулировать **третий закон Кеплера**.

Квадраты звёздных периодов обращения планет относятся между собой как кубы больших полуосей их орбит.

Формула, выражающая третий закон Кеплера, такова:

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

где T_1 и T_2 — периоды обращения двух планет; a_1 и a_2 — большие полуоси их орбит.

Вот что писал Кеплер после открытия этого закона: «То, что 16 лет тому назад я решил искать, <...> наконец найдено, и это открытие превзошло все мои самые смелые ожидания...»

Действительно, третий закон заслуживает самой высокой оценки. Ведь он позволяет вычислить относительные расстояния планет от Солнца, используя при этом уже известные периоды их обращения вокруг Солнца. Не нужно определять расстояние от Солнца каждой из них, достаточно измерить расстояние от Солнца хотя бы одной планеты. Величина большой полуоси земной орбиты — *астрономическая единица* (а. е.) — стала основой для вычисления всех остальных расстояний в Солнечной системе.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Противостояния некоторой планеты повторяются через 2 года. Чему равна большая полуось её орбиты?

Дано:

$$S = 2 \text{ г.}$$

$$T_1 = 1 \text{ г.}$$

$$a_1 = 1 \text{ а. е.}$$

$$a_2 = ?$$

Решение:

Большую полуось орбиты планеты можно определить из третьего закона Кеплера:

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

Формула

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}$$

используется для вычисления звёздного периода планеты:

$$T_2 = \frac{T_1 S}{S - T_1}, \quad T_2 = \frac{2}{2 - 1} = 2 \text{ г.}$$

Тогда $a_2 = \sqrt[3]{2^2} \approx 1,59 \text{ а. е.}$

Ответ: $a_2 = 1,59 \text{ а. е.}$



ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте законы Кеплера.
2. Как меняется скорость планеты при её перемещении от афелия к перигелию?
3. В какой точке орбиты планета обладает максимальной кинетической энергией; максимальной потенциальной энергией?



УПРАЖНЕНИЕ 10 1. Марс в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля. Какова продолжительность года на Марсе? Орбиты планет считать круговыми. 2. Синодический период внешней малой планеты 500 суток. Определите большую полуось её орбиты и звёздный период обращения.



ЗАДАНИЕ 11 Выполнение этого задания позволит узнать, как располагаются планеты на орбитах в настоящее время, и научиться самостоятельно отыскивать их на небе.

1) Нарисуйте в своей тетради орбиты четырёх ближайших к Солнцу планет: Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Чтобы наибольшая из орбит — орбита Марса — уместилась на листе тетради, следует выбрать масштаб, при котором 1 см соответствует 30 млн км (1 : 3 000 000 000 000). Рассчитайте размеры орбит планет и с помощью циркуля проведите окружности соответствующего радиуса. Необходимые данные возьмите из приложения VI.

2) Используйте данные таблицы гелиоцентрических долгот¹ планет из «Школьного астрономического календаря» для ответа на следующие вопросы:

а) У какой планеты — Меркурия, Венеры, Земли или Марса — эксцентриситет орбиты наибольший?

б) На какие (примерно) даты приходятся прохождения Меркурия через перигелий; через афелий?

в) Найдите в таблице даты, на которые приходятся соединения планет с Солнцем, а также их противостояний.

3) Пользуясь таблицей гелиоцентрических долгот планет, на орбите каждой планеты отметьте её положения в сентябре — декабре текущего года. Для этого проведите из центра орбит в произвольном направлении луч, который будет указывать на направление на точку весеннего равноденствия. От этого луча на каждой орбите в направлении, противоположном движению часовой стрелки, отложите дуги, соответствующие гелиоцентрической долготе данной планеты, и отметьте эти положения.

Для того чтобы узнать, где по отношению к Солнцу располагается на небе та или иная планета, ориентируйте нарисован-

¹ Гелиоцентрической долготой называется угол при центре (Солнце) между направлениями на точку весеннего равноденствия и на планету.

ный план так, чтобы линия, соединяющая на плане положение Земли на данные сутки и Солнца, была направлена в момент наблюдения на Солнце. Те планеты, которые согласно их положению на плане оказываются слева от направления на Солнце, заходят позже него. Планеты, которые находятся справа от этого направления, заходят раньше Солнца, но и восходят раньше него. Для того чтобы узнать, можно ли будет увидеть планеты, необходимо определить, как далеко от Солнца на небе они находятся. Если на плане угол между направлениями с Земли на Солнце и на планету менее 15° , то, скорее всего, планету нельзя будет наблюдать. Она либо зайдёт прежде, чем стемнеет, либо взойдёт уже после того, как станет светло. Если же планета удалена от Солнца более чем на 15° , то её следует поискать на небе на соответствующем угловом расстоянии от него.

§ 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ ТЕЛ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

1. Форма и размеры Земли

Представление о Земле как о шаре, который свободно, без всякой опоры находится в космическом пространстве, является одним из величайших достижений науки древнего мира.

Считается, что первое достаточно точное определение размеров Земли провёл греческий учёный *Эратосфен* (276—194 до н. э.), живший в Египте. Идея, положенная в основу измерений Эратосфена, весьма проста: измерить длину дуги земного меридиана в линейных единицах и определить, какую часть полной окружности эта дуга составляет. Получив эти данные, можно вычислить длину дуги в 1° , а затем длину окружности и величину её радиуса, т. е. радиуса земного шара. Очевидно, что длина дуги меридиана в градусной мере равна разности географических широт двух пунктов: $\varphi_B - \varphi_A$.

Для того чтобы определить эту разность, Эратосфен сравнил полуденную высоту Солнца в один и тот же день в двух городах, находящихся на одном меридиане. Измерив высоту Солнца h_B (рис. 3.8) в полдень 22 июня в Александрии, где он жил, Эратосфен установил, что Солнце отстоит от