

Если варьированием σ достичь выполнения условия

$$r\omega^2 = 1,$$

то получится круговая орбита.

Заметим, что Вьяйсяля пользуется сокращенными расстояниями (16.12) не только в случае нахождения перигелийной орбиты, но и в общем случае, когда это дает несколько меньшее сокращение вычислений.

Метод Вьяйсяля, отличающийся исключительной простотой применяемых формул, был широко испробован на практике. Все многочисленные орбиты, вычисленные, начиная с 1935 г., на обсерватории в Турку, были получены этим методом.

§ 17. Заключительные замечания

В предыдущих параграфах, говоря о методах вычислений планетных и кометных орбит, мы рассматривали почти исключительно только первую часть задачи — нахождение или гелиоцентрических координат для моментов наблюдений или гелиоцентрического положения и скорости для некоторого фиксированного момента. История второй части задачи, т. е. перехода от только что указанных величин к элементам орбиты, гораздо короче. Способы, которые были предложены для этой цели Эйлером и Гауссом, подверглись в дальнейшем лишь небольшим изменениям. Замечания, сделанные по этому поводу выше (§ 7), можно дополнить указанием на работу Херглотца [1906], содержащую довольно полный исторический обзор, и на библиографию, собранную Штракке [1928] и Г. М. Баженовым [1952].

Сделанный нами обзор методов решения первой части задачи имел своей целью не только дать достаточно полную картину их развития, но и изложить некоторые из них со всей полнотой, необходимой для практического применения.

Этот обзор показывает, что для вычисления орбит мы имеем в результате столь многочисленных усилий немало разнообразных путей, среди которых ясно намечаются три основных направления.

Первое из этих направлений, связываемое обычно с именем Лапласа, но намеченное еще Ньютоном, заключается в непосредственном использовании дифференциальных уравнений движения. Второй путь, подробно развитый Лагранжем, заключается в использовании решений этих дифференциальных уравнений при помощи рядов, расположенных по степеням интервалов времени. Наконец, третий путь получения точных гелиоцентрических положений светила был указан Гауссом. Он заключается в использовании решений дифференциальных уравнений не в виде рядов, а в замкнутой форме. Некоторые из предложенных

методов занимают как бы промежуточное положение между этими основными путями решения задачи.

Вопрос о наилучшем методе вычисления орбиты может иметь смысл лишь при учете всех особенностей рассматриваемого конкретного случая, включая как технические средства, так и привычки вычислителя. Поэтому знакомство с указанными выше методами представляет не только исторический интерес, но имеет и практическое значение. Такое знакомство позволяет, особенно в трудных или необычных случаях, проявить надлежащую гибкость в выборе наиболее эффективного пути *).

Рассмотренные нами методы пригодны не только для вычисления планетных и кометных орбит. В предыдущей главе были подробно изложены те формы, которые эти методы получили в применении к вычислению орбит визуальных двойных звезд. Мы не будем рассматривать аналогичную задачу о нахождении орбиты спутника планеты. Такая задача встречается крайне редко, а кроме того, каждый новый случай, с которым здесь приходилось иметь дело, требовал индивидуального подхода. Один из вариантов решения этой задачи излагает Баушингер [1928].

Изложенные методы могут быть применены, с надлежащими изменениями, и для нахождения орбит искусственных спутников Земли. Остановимся на некоторых особенностях, имеющих здесь место.

Исходная приближенная орбита искусственного спутника обычно находится с достаточной точностью при помощи геоцентрического положения и скорости спутника в момент выхода его на орбиту. Наблюдения, дающие топоцентрические прямые восхождения и склонения, служат для получения более точных оскулирующих орбит в последующие моменты. Для этого применяются обычные методы дифференциального исправления элементов (§ 7 гл. XI). Дело немного осложняется только тем, что приходится учитывать вековые изменения большой полуоси, долготы узла и аргумента перигелия, вызываемые торможением атмосферы и несферичностью Земли. Это увеличивает число неизвестных в условных уравнениях, так как влияние торможения приходится, во всяком случае, учитывать эмпирически. Вековые движения узла и перигея, зависящие целиком от несферичности Земли, могут также находиться из условных уравнений, если движение спутника изучается с целью получения параметров, характеризующих несферичность гравитационного поля Земли. В других случаях, например, когда элементы орбиты нужны для получения эфемерид, для этих вековых движений берутся их теоретические значения.

*) Работы по определению орбит планет и комет, появившиеся до 1900 г., довольно полно указаны в статье Радо [1899]. Литературу с 1900 по 1928 годы можно найти в книге Штракке [1929]. (Прим. ред.)

Специфической особенностью многих наблюдений искусственных спутников является недостаточная точность фиксации моментов наблюдений, не позволяющая полностью использовать точность, достигнутую в измерении угловых координат. Эта особенность связана с очень быстрым видимым движением искусственных спутников, превышающим иногда 2° за 1 сек времени.

Тогда как для планет и комет моменты наблюдений мы можем считать абсолютно точными и приходится учитывать возможную неточность лишь угловых координат, для искусственных спутников моменты наблюдений мы часто вынуждены считать лишь приближенными. Таким образом, моменты наблюдений здесь должны быть использованы лишь в минимально необходимой степени. Соответствующие этому условию изменения в составлении условных уравнений были подробно изучены в работе Д. К. Куликова и Ю. В. Батракова [1960]. Это позволило авторам с большой полнотой осветить вопрос об использовании таких наблюдений для геодезических целей, т. е. для получения связи между референц-эллипсоидами различных областей земной поверхности и нахождения положения центров этих референц-эллипсоидов относительно центра инерции Земли.

Задача вычисления совершенно неизвестной орбиты искусственного спутника по нескольким наблюдениям может встретиться лишь в исключительных случаях. Вычисление орбиты (как невозмущенной, так и возмущенной) по трем наблюдениям было рассмотрено Бриггсом и Слоуи [1959]. Вопрос о вычислении орбиты по наблюдениям с грубо известными моментами был рассмотрен Ю. В. Батраковым [1960], детально изучившим вычисление орбиты по четырем наблюдениям при условии, что два наблюдения имеют точные моменты, а на моменты двух других полагаться нельзя. В случае, когда все моменты известны только приближенно, для вычисления орбиты нужно иметь по крайней мере шесть наблюдений.

В недалеком будущем могут встретиться еще задачи, связанные с нахождением орбит искусственных спутников Венеры и Марса. Оптические наблюдения таких спутников будут неосуществимы при помощи самых больших современных рефлекторов. Наблюдения с Земли радиопередатчиков, установленных на таких спутниках, не дадут достаточной точности в угловых координатах. Таким образом, единственная открывающаяся здесь возможность при современных технических средствах, это использование эффекта Доплера. Если на спутнике будет установлен передатчик с достаточно хорошей стабилизацией частоты, то это может дать нужную точность. Для вычисления орбиты можно будет применить способы, разработанные для спектрально-двойных звезд.