

УЛУЧШЕНИЕ ОРБИТ**§ 1. Вводные замечания**

Изучение движения небесных тел имеет своей ближайшей целью получение их орбит с возможно большею точностью. Так как каждая орбита определяется шестью элементами (т. е. шестью постоянными, вводимыми интегрированием уравнений движения), то задача приводится к нахождению вероятнейших значений этих элементов при помощи возможно большего количества наблюдений, охватывающих возможно больший промежуток времени. Чем больше использовано наблюдений, тем больше можно рассчитывать на уменьшение влияния их случайных ошибок на окончательный результат. С другой стороны, точность, с которой получается большая полуось a (или перигельное расстояние q — в случае параболического движения) пропорциональна промежутку времени, охватываемому наблюдениями.

Таким образом, улучшение орбит является постоянной, и притом весьма существенной, частью работы по изучению движения всех небесных тел. Но особенно часто улучшение орбит приходится выполнять для недавно открытых малых планет и комет.

Изучение движения малых планет и комет всегда начинается с вычисления предварительной орбиты. Для этого используются, как мы видели, 3—4 наблюдения, разделенные небольшими промежутками времени.

Полученная таким образом орбита не может обладать большой точностью. Будучи основана на минимально необходимом количестве наблюдений, она целиком включает их ошибки. А искажения орбиты, вносимые ошибками наблюдений, тем больше, чем меньше промежутки времени между наблюдениями. Поэтому сразу же возникает необходимость в улучшении предварительной орбиты.

Задача улучшения предварительной орбиты при помощи использования дальнейших наблюдений решается последователь-

ными приближениями, причем на отдельных этапах применяются различные методы.

Предварительная орбита используется прежде всего для контроля имеющихся наблюдений. Сравнение наблюденных положений светила с эфемеридой, вычисленной при помощи этой орбиты, позволяет обнаружить и удалить наблюдения, содержащие грубые ошибки, а также соединить близкие по времени наблюдения в нормальные места (§ 2), что в большинстве случаев существенно сокращает дальнейшую работу.

Улучшение орбиты производится сначала упрощенными методами при помощи небольшого числа выбранных соответствующим образом наблюдений. Чем больший интервал времени охватывают взятые наблюдения, тем надежнее получаются элементы орбиты. Применяемые здесь упрощенные методы будут подробно рассмотрены в § 3—6. Их основой является нахождение линейным интерполированием геоцентрических расстояний для двух моментов, или других величин, также вполне определяющих орбиту.

После того как получена орбита, дающая настолько малые разности между наблюденными и вычисленными значениями координат, что квадратами этих разностей можно пренебречь, применяется дифференциальный метод исправления элементов орбиты, называемый также методом вариации элементов. Этот метод позволяет полностью использовать все имеющиеся наблюдения и получить наиболее вероятную орбиту, соответствующую этим наблюдениям.

В эпоху логарифмической вычислительной техники методом вариации элементов пользовались лишь на завершающем этапе работы — для получения наиболее точной (т. е. наиболее вероятной) орбиты при помощи всей совокупности имеющихся наблюдений. Это было связано с тем, что решение систем условных уравнений при помощи логарифмов являлось весьма трудоемкой операцией. Но распространение арифмометров, существенно облегчивших применение способа наименьших квадратов, изменило положение дела. Вариация элементов стала все чаще и чаще применяться и для повторных, предварительных исправлений элементов, а не только для получения окончательной орбиты. Методом вариации элементов стали пользоваться и для исправления орбит, дающих еще настолько большие разности между наблюденными и вычисленными значениями координат, что квадратами этих разностей нельзя пренебрегать. В таких случаях повторное применение метода вариации элементов приводит сначала к орбите, для которой указанные разности можно трактовать как дифференциалы, а затем и к окончательной орбите. Употребление счетно-аналитических, а затем электронных вычислительных машин еще больше расширило область

применения дифференциального метода исправления орбит. Специальные методы предварительного исправления орбит, например, метод вариации геоцентрических расстояний, являются мало подходящими для больших вычислительных машин.

Для дифференциального исправления орбит малых планет и комет было предложено много различных методов, отличающихся между собой как выбором исправляемых элементов, так и способом вычисления коэффициентов условных уравнений. Но из этих методов в настоящее время применяются лишь весьма немногие. Изложением их мы и ограничимся.

Вычисление коэффициентов условных уравнений и решение этих уравнений по способу наименьших квадратов не представляют никаких принципиальных трудностей и не нуждаются в иллюстрировании примерами. Иначе дело обстоит с другими частями работы. Подготовка наблюдений, критический анализ расхождений между положениями светила, даваемыми подлежащей исправлению орбитой, и наблюдениями, распределение весов в случае неравноточных наблюдений, анализ полученных поправок элементов — все это требует известной опытности. Большую пользу здесь может принести изучение тех многочисленных и разнообразных примеров исправления орбит, которые в изобилии имеются в астрономических журналах и трудах обсерваторий.

§ 2. Подготовка наблюдений. Нормальные места

Первым этапом работы по улучшению орбиты является сравнение вычисленной при помощи этой орбиты эфемериды со всеми используемыми наблюдениями. Здесь со всей тщательностью должны быть учтены поправки за параллакс, абберацию, прецессию и нутацию, рассмотренные в гл. VII.

Если вычисления ведутся с большой точностью, то моменты наблюдений, публикуемые всегда во всемирном времени, следует предварительно редуцировать на эфемеридное время. Не следует забывать, что эфемериды вычисляются для моментов, выраженных в эфемеридном времени.

Наблюденные положения светила иногда могут быть улучшены. При опубликовании наблюдений обычно указывается, к каким звездам сравнения отнесено положение светила и из какого каталога взяты положения этих звезд. Если есть возможность получить для звезд сравнения более точные положения (из других каталогов, или учитывая собственные движения, или путем специальных наблюдений), то тем самым можно уточнить наблюденные координаты светила.

После того как для всех наблюдений получены разности $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ между наблюденными и вычисленными значениями коор-