часто применяют для решения обратной задачи, т. е. для нахождения параллакса по сумме масс компонент двойной звезды. Такие параллаксы, основанные на более или менее гипотетическом значении суммы m_0+m_1, получили название динамических.

Первоначально динамические параллаксы вычисляли, принимая среднее значение $m_0+m_1=2$. Открытие Эддингтоном соотношения «масса — светимость» позволило пользоваться гораздо более точным значением суммы масс. Это сделало динамические параллаксы сравнимыми по точности с тригонометрическими. Ценность этого метода увеличивается еще и тем обстоятельством, что для многих двойных звезд, у которых наблюдения охватывают еще недостаточно большую часть орбиты для надежного вычисления каждого из элементов a и P в отдельности, величина a^3P^{-2} все же может быть получена с удовлетворительной точностью.

В тех случаях, когда наблюдения позволяют найти движение каждой компоненты относительно соседних звезд, становятся известными орбиты каждой компоненты относительно центра инерции системы, движущегося прямолинейно и равномерно. Так как расстояния компонент от центра инерции обратно пропорциональны их массам, то в этих случаях может быть найдена не только сумма масс, но и масса каждой компоненты в отдельности.

Мы ограничимся рассмотрением способов вычисления орбит только визуально-двойных звезд. Эти способы непосредственно связаны с изучаемыми в теоретической астрономии вопросами. Между тем методы нахождения орбит спектрально-двойных и затменно-двойных звезд тесно связаны с методикой астрофизических наблюдений, а иногда и с учетом различных физических факторов. Их целесообразнее поэтому изучать в астрофизике *).

§ 2. О наблюдениях визуально-двойных звезд

Рассмотрим, прежде всего, тот наблюдательный материал, который используется при вычислении орбиты визуально-двойной звезды.

Наблюдения дают координаты, определяющие положение спутника (т. е. более слабой компоненты) относительно главной (т. е. более яркой) звезды. Обычно применяемыми координатами являются угловое расстояние спутника от главной звезды и позиционный угол этого расстояния. Эти величины будем

*) Вопросы, относящиеся к изучению движения двойных звезд, весьма обстоятельно рассмотрены в известной монографии Эйткена [1935], содержащей много литературных указаний. Укажем также статью Г. А. Шайна [1936].

в дальнейшем обозначать через ρ и θ. Напомним, что θ считается от дуги круга склонений, соединяющего главную звезду с северным полюсом, против часовой стрелки, если смотреть из центра небесной сферы; счет ведется от 0° до 360°.

Если через $\Delta\rho$ и $\Delta\theta$ обозначить абсолютные погрешности ρ и θ, то относительные погрешности по этим координатам будут равны $\Delta\rho/\rho$ и $\rho\Delta\theta/\rho=\Delta\theta$ (в радианах). Важно отметить, что эти относительные ошибки (как случайные, так и систематические), могут быть весьма велики. Для лучших рядов наблюдений они бывают порядка нескольких процентов. Как общее правило, расстояния менее точны, нежели позиционные углы. В тех случаях, когда ρ лишь немного превосходит разрешающую силу инструмента, ошибки в ρ иногда доходят до 25%.

Вычисление орбиты двойной звезды приходится всегда начинать с тщательного анализа наблюдений с целью освобождения их, по мере возможности, от систематических ошибок. Здесь нет надобности останавливаться на методах нахождения этих ошибок, так как изучение этих методов неотделимо от изучения многочисленных примеров, содержащихся в литературе по вычислению орбит отдельных двойных звезд. Хорошим введением в изучение этих вопросов может служить работа Экенберга [1945].

Редукция наблюдений

Наблюдения двойных звезд не приходится освобождать от дифференциального влияния рефракции, аберрации и нутации: для столь тесных объектов влияние этих факторов на обе компоненты может считаться совершенно одинаковым. Но влияние прецессии, растущее пропорционально времени, может заметно изменять позиционный угол. Поэтому позиционные углы должны быть всегда приведены к некоторой общей эпохе.

Пусть α и δ — координаты двойной звезды, а $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ — разности прямых восхождений и склонений ее компонент, так что

$$\Delta\delta=\rho\cos\theta, \quad \cos\delta\cdot\Delta\alpha=\rho\sin\theta.$$

Прецессия меняет склонение за один год на

$$+20'',047\cos\alpha=+0°,00557\cos\alpha.$$

Соответствующее изменение позиционного угла, которое обозначим через $d\theta$, определяется, очевидно, равенством

$$-0°,00557\sin\alpha\,\Delta\alpha=-\rho\sin\theta\,d\theta,$$

дающим

$$d\theta=+0°,00557\sin\alpha\sec\delta.$$

Таким образом, если через θ и θ_0 обозначить значения позиционного угла, отнесенные соответственно к положениям экватора в моменты t и t_0, то

$$\theta=\theta_0+0^\circ{,}00557\sin\alpha\sec\delta(t-t_0),$$

где промежуток времени $t-t_0$ должен быть выражен в годах.

Большое собственное движение по прямому восхождению тоже может оказать заметное влияние на позиционный угол. Вместо точного вычисления соответствующей поправки обычно довольствуются применением формулы

$$\theta=\theta_0+\mu_\alpha^0\sin\delta(t-t_0),$$

где μ_α^0 есть собственное движение двойной звезды по прямому восхождению, выраженное в градусах *).

Движение двойной звезды по лучу зрения, изменяющее ее параллакс, делает не вполне сравнимыми расстояния компонент, измеренные в различные эпохи.

Пусть ρ и ρ_0 будут расстояниями, фактически измеренными в моменты t и t_0. Пусть, далее, ρ' есть расстояние между компонентами в момент t, но соответствующее величине параллакса в момент t_0. Значение ρ', уже вполне сравнимое с ρ_0, дается формулой

$$(\rho'-\rho)/\rho=+0{,}00000102\,p''V(t-t_0),$$

где p'' — параллакс, а V *км/сек* — лучевая скорость двойной звезды; $(t-t_0)$ лет — соответствующий промежуток времени.

§ 3. Элементы орбиты. Вычисление эфемериды

Орбита двойной звезды определяется семью элементами. Кроме шести постоянных, вводимых интегрированием уравнений движения задачи двух тел, здесь приходится находить из наблюдений еще и сумму масс компонент, входящую в уравнения движения (§ 1 гл. III).

Удобнее, однако, за седьмой элемент взять не сумму масс m_0+m_1, а период обращения P. Эти две величины связаны между собой соотношением (1.1), содержащим параллакс двойной звезды.

Вместо P (выражаемого всегда в сидерических годах) часто употребляется среднее годовое движение спутника, выраженное в градусах:

$$n=360^\circ/P. \tag{3.1}$$

*) Для точного вычисления этой поправки нужно полное значение орбиты, включая и знак наклона. Эти вопросы подробно рассмотрены Флетчером [1931] и Виет-Кнудсеном [1953].