АСТРОНОМИЯ

УДК 521.13

О ВОЗМУЩЕНИЯХ ВНЕШНЕЙ ОРБИТЫ КРАТНОЙ ЗВЕЗДНОЙ СИСТЕМЫ ξ БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ

А. А. Орлов, **Н. А. Соловая**

(ГАИШ)

Введение. Целью настоящей работы является вычисление возмущений внешней орбиты кратной звездной системы ξ*U. Ma.* с помощью формул, развитых в работах [1, 2].

Система ξ*U. Ma.* состоит из двух спектрально-двойных звезд с периодом движения в 1,8 года и 3,98 суток. Центры масс этих спектральных пар обращаются один вокруг другого с периодом в 59,8 года (по данным Хейнтца [3]). Пара с периодом обращения в 3,98 суток является настолько тесной, что для наших целей ее двойственностью можно пренебречь и рассматривать систему ξ*U. Ma.* как тройную звезду. Составляющие пары с периодом в 1,8 года мы будем обозначать через A и a, а центр масс пары с периодом в 3,98 — через B. Орбиту, описываемую составляющей a около A, будем называть внутренней орбитой, а орбиту B относительно центра масс Aa — внешней.

Система ξ*U. Ma.* является единственной тройной системой, для которой удалось обнаружить из наблюдений возмущения внешней орбиты, обусловленные двойственностью внутренней пары Aa: в 1966 г. Хейнтц показал [3], что на нескольких оборотах звезды B вокруг центра масс Aa внешняя орбита не может быть представлена постоянной системой элементов, и расхождения между вычисленными и наблюденными положениями B слишком велики для того, чтобы их можно было объяснить ошибками наблюдений.

Установив это обстоятельство, Хейнтц с помощью численного интегрирования системы дифференциальных уравнений движения звезды B вычислил средние за 100 лет возмущения наклонности δi, аргумента периастра $\delta\omega$, долготы узла $\delta\Omega$ и средней аномалии δM_0, а затем проделал улучшение элементов орбит системы в предположении, что указанные выше возмущения изменяются пропорционально времени. При численном интегрировании предполагалось, что внутренняя орбита не испытывает возмущений и является кеплеровым эллипсом. Кроме того, Хейнтц [3] определил указанные выше средние изменения элементов путем непосредственной обработки наблюдений.

Задача, которую мы ставили себе в настоящей работе, состоит в том, чтобы выяснить, насколько хорошо найденные Хейнтцем возмущения могут быть представлены с помощью теории, развитой в работах [1, 2] и основанной на получении приближенного решения неограниченной задачи трех тел. Она дает возможность вычислить короткопериодические, долгопериодические и вековые возмущения как внутренней, так и внешней орбит тройных звездных систем.

§ 1. **Расчетные формулы.** Формулы работ [1, 2] построены в предположении, что движение составляющих тройной звезды отнесено к якобиевой системе координат, основная плоскость которой параллельна плоскости Лапласа. Движение звезды a отнесено к координатному трехграннику, имеющему начало в центре звезды A, а движение звезды B — к трехграннику с началом в центре масс пары Aa.

Формулы для вычисления вековых и долгопериодических возмущений кеплеровых элементов внешней орбиты даны в работе [2]. Исходными данными для вычислений по этим формулам должны служить начальные значения оскулирующих кеплеровых элементов внешней и внутренней орбит тройной звезды, отнесенных к указанной выше якобиевой системе координат, из которых предварительно исключены короткопериодические возмущения с помощью формул преобразования по методу Цейпеля, содержащихся в работе [1].

Элементы внешней и внутренней орбит, отнесенные к неизменной плоскости Лапласа, мы будем обозначать теми же символами, что и в работе [2], опуская, однако, для упрощения штрихи:

$$a_j,\ e_j,\ i_j,\ l_j,\ g_j,\ h_j, \tag{1}$$

где a, e, i, l, g, h суть соответственно большая полуось, эксцентриситет, наклонность, средняя аномалия, аргумент периастра и долгота восходящего узла орбиты. Долготы узлов h_1 и h_2 на плоскости Лапласа отличаются друг от друга на 180°.

В настоящей работе нас будут интересовать изменения в зависимости от времени только элементов внешней орбиты. Формулы для вычисления этих элементов, а также последовательность вычислений по ним указаны в § 3, 7 и 8 работы [2]. Приведем эти формулы, используя обозначения работы [2], опуская лишь штрихи в выражениях элементов:

$$\begin{gathered}
a_2=\mathrm{const};\quad e_2=\mathrm{const};\\
\sin i_2=\left(\sqrt{\xi}\sqrt{1-q^2}\right)/\bar{c},\quad \cos i_2=\left(q\sqrt{\xi}+\bar{G}_2\right)/\bar{c};\\
l_2=B_2+\varkappa_2(t-t_0);\\
g_2=B_4+\varkappa_4(t-t_0)+Q_4I_1(u)+Q_5I_2(u)+Q_6I_4(u)+Q_7I_5(u);\\
h_2=\pi+B_5+Q_8I_1(u)+Q_6I_4(u)-Q_7I_5(u),
\end{gathered} \tag{2}$$

где u — вспомогательная переменная, определяемая равенством

$$\xi=\xi_1+(\xi_2-\xi_1)\,\mathrm{sn}^2u \tag{3}$$

и связанная с временем t уравнением

$$I_1(u)=B_3'+\varkappa_3(t-t_0). \tag{4}$$

Функции $I_j(u)$ $(j=1;\ 2,\ 3,\ 4,\ 5)$ представляют собой гиперэллиптические интегралы, выражающиеся через вспомогательную переменную u следующим образом:

$$I_1(u)=\int_0^u\frac{du}{\sqrt{\sigma}},\quad I_2(u)=\int_0^u\frac{\mathrm{sn}^2u\,du}{\sqrt{\sigma}},$$

$$I_3(u)=\int_0^u\frac{\mathrm{sn}^2u\,du}{1-b_1^2\,\mathrm{sn}^2u}\,\frac{1}{\sqrt{\sigma}},\quad I_4(u)=\int_0^u\frac{\mathrm{sn}^2u}{1-b_2^2\,\mathrm{sn}^2u}\,\frac{du}{\sqrt{\sigma}},$$

$$I_5(u)=\int_0^u\frac{\mathrm{sn}^2u}{1+b_3^2\,\mathrm{sn}^2u}\,\frac{du}{\sqrt{\sigma}}, \tag{5}$$

причем $\sigma=1-2\beta\varepsilon\,\mathrm{sn}^2u+\varepsilon^2\,\mathrm{sn}^4u$.

Формулы для вычисления постоянных $\varkappa_j$, Q_j, B_j, ξ_j, $\bar{G}_2$, $\bar{c}$, β, ε и модуля k функции $\operatorname{sn}^2 u$ даны в работе [2], и здесь мы не будем их приводить.

§ 2. **Исходные данные. Порядок вычислений.** В табл. 2 работы [3] даны значения элементов внутренней и внешней орбит системы $\xi U.\ Ma.$, отнесенные к общей системе координат, за основную плоскость которой взята картинная плоскость, а началом ее служит центр масс пары Aa. Чтобы воспользоваться этими данными для вычислений по формулам предыдущего параграфа, нужно по элементам орбиты составляющей A найти элементы орбиты составляющей a относительно координатного трехгранника, имеющего начало в центре звезды A. Этого мы достигнем, умножив большую полуось орбиты A, данную в указанной таблице, на $(m_0+m_1)/m_1$, где m_0 и m_1 суть соответственно массы звезд A и a, изменив аргумент перицентра орбиты A на 180° и оставив остальные элементы без изменений. Тогда для 1900 г. мы получим значения элементов орбит звезд a и B (большая полуось a, отнесенная к центру масс составляющей A, приведена в той же табл. 2 работы [3]), приведенные в табл. 1. Массы m_0, m_1 и m_2 составляющих A, a и B в единицах масс Солнца имеют следующие значения: $m_0=0{,}83$, $m_1=0{,}31$, $m_2=0{,}92$.

Таблица 1

	a	B
a	1,56 а. е.	19,46 а. е.
e	0,56	0,414
I	86,3°	122,65°
T	1935,410	1935,170
ω	146°	127,53°
Ω_j	326°	101,59°

Таблица 2

	a	B
i	125,45°	3,97°
g	276,83°	21,26°
h	284,17°	104,17°

Элементы табл. 1, отнесенные к картинной плоскости, нужно пересчитать к системе координат, для которой основной является неизменная плоскость Лапласа. Для этого необходимо определить положение плоскости Лапласа по отношению к системе координат, связанной с картинной плоскостью, т. е. определить ее наклонность и долготу линии узлов. С этой целью следует воспользоваться интегралами площадей тройной звездной системы. В результате мы получили: наклонность $I=124{,}27°$ и долгота линии узлов $\Omega=97{,}25°$.

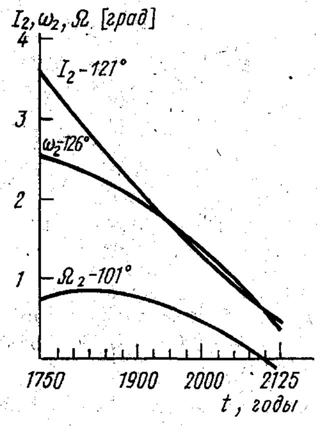
Теперь, воспользовавшись формулами сферической тригонометрии, получим значения элементов орбит составляющих a и B в якобиевой системе координат, основная плоскость которой параллельна неизменной плоскости Лапласа. При этом изменятся только значения углов наклонности, аргумента периастров и долгот линии узлов орбит. Их новые значения даны в табл. 2.

Используя эти значения i_j, g_j, h_j, а также a и e $(j=1,\ 2)$ из табл. 1 как начальные данные, мы сможем вычислить по формулам предыдущего параграфа значения i_2, g_2 и h_2 для любого момента времени.

После этого мы сможем с помощью формул сферической тригонометрии вычислить для тех же моментов времени значения элементов орбиты B, отнесенные к системе координат, связанной с картинной плоскостью.

§ 3. **Результаты вычислений.** Проделав вычисления в той последовательности, которая была описана в предыдущем параграфе, мы определим значения элементов i_2, ω_2 и Ω_2 орбиты составляющей B, отнесенной к картинной плоскости на трехсотлетнем интервале с 1750 по 2125 г. с промежутками времени в 25 лет. Результаты вычислений приведены на рисунке.

В работе Хейнтца [3] возмущения элементов i_2, ω_2 и Ω_2 даны в виде линейных функций времени. Однако данные, приведенные на рисунке, не могут быть представлены с помощью линейных функций, так как наши вычисления выполнялись с учетом не только вековых, но и долгопериодических возмущений. Нелинейность изменения i_2, ω_2 и Ω_2 отчетливо видна на рисунке. Поэтому для сопоставления наших результатов с результатами Хейнтца были взяты изменения рассматриваемых элементов с 1800 по 1950 г. и поделены на 1,5, что дает значения (правда, грубые, но для наших целей приемлемые) столетних изменений элементов i_2, ω_2 и Ω_2. Взятый нами промежуток времени приблизительно совпадает с периодом времени, на котором Хейнтц проделал обработку наблюдений ξ *U. Ma.* Эти изменения приведены в первом столбце табл. 3; в последних двух столбцах содержатся аналогичные величины, выведенные Хейнтцем из наблюдений при различных вариантах их обработки.



Заключение. Сравнение изменений элементов i_2, ω_2 и Ω_2, вычисленных по формулам теории, развитой в работах [1, 2], и выведенных Хейнтцем [3] из наблюдений, показывает, что порядки величин этих изменений в том и другом случае совпадают, хотя численные их значения различны. Однако заметим, что существенное различие в результатах получилось и у Хейнтца при различных вариантах обработки наблюдений. Можно констатировать лишь совпадение порядков численных значений этих величин.

Таблица 3

	По формулам [1, 2]	Хейнтц (теория)	Хейнтц (наблюдения)	Хейнтц (наблюдения)
δi_2	—0,95°	—1,43°	—1,93°	—1,65°
$\delta\omega_2$	—0,50°	—0,61°	—0,02°	—0,29°
$\delta\Omega_2$	—0,11°	—0,86°	—0,28°	—0,63°

Таким образом, согласие результатов расчетов по формулам работы [2] с результатами Хейнтца [3] можно считать удовлетворительным. Для более строгого сопоставления результатов Хейнтца [3] с данными, полученными с помощью формул работы [1, 2], необходимо провести новую обработку наблюдений системы ξ *U. Ma.*, при которой возмущения внешней орбиты следует вычислить по указанным выше формулам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Соловая Н. А.//Тр. ГАИШ. 1972. **45**. С. 39—51. [2] Орлов А. А., Соловая Н. А.//Тр. ГАИШ. 1974. **43**. С. 119—136. [3] Heintz W. D.//Astron. Nachrichten. 1967. **B289**. P. 269—277.

Поступила в редакцию
15.08.85