

УДК 521.313

## ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА. ДВИЖЕНИЕ ДВУХ ТЕЛ С УЧЁТОМ МАССОПЕРЕНОСА

Николаева Е. А., Старинова О. Л.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Двойная звезда или двойная система – система из двух гравитационно связанных звезд, обращающихся по замкнутым орбитам вокруг барицентра – точки, лежащей между ними и называемой центром гравитации этих звезд.

Двойные звёзды бывают различных видов:

- 1) оптически двойные звёзды – две физически никак не связанные между собой звёзды, случайно проецируемые на очень близкие друг к другу точки небесной сферы;
- 2) спектрально-двойные звёзды – выявляемые по периодическим колебаниям или раздвоению спектральных линий;
- 3) затменно-двойные звёзды – изменяющие свой блеск вследствие затмения одного компонента двойной звезды;
- 4) астрометрически двойные – выявляются по отклонению в движении (колебаниям) главной звезды, вызванным орбитальным движением более слабого спутника.

Тесные двойные системы (ТДС) – системы из двух звёзд, в которых на некотором этапе эволюции происходит обмен веществом между компонентами.

Возможны различные законы изменения массы звёзд, в том числе линейный – как у нас.

Благодаря тому, что силы взаимодействия между телами подчиняются третьему закону Ньютона (т.е. эти силы равны по модулю и противоположно направлены), задачу двух тел можно математически свести к задаче о движении единственного «виртуального» тела с так называемой приведённой массой:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)}, \quad (1)$$

движущегося под действием стационарной силы, равной силе взаимодействия «настоящих» тел. В результате удаётся найти движение одного тела относительно другого. Когда тела взаимодействуют с силой тяготения, обратно пропорциональной квадрату расстояния, это относительное движение происходит по коническим сечениям в соответствии с законами Кеплера.

Зная, как одно из тел движется вокруг другого по эллипсу (скажем, в системе двойной звезды), можно показать, что оба гравитационно связанных тела движутся синхронно по геометрически подобным эллипсам вокруг общего центра масс всей системы.

Для моделирования траектории движения и расчёта межзвёздных расстояний была разработана программа в пакете Delphi. В качестве примера была взята звезда Сириус А и Сириус В, были найдены их характеристики масс, скоростей и период обращения. В каждый момент времени компоненты двойной звезды находятся на противоположных концах отрезка, проходящего через центр масс, и делят этот отрезок в отношении, обратно пропорциональном своим массам.

Записываем уравнения движения:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{\vec{r}}_1 = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} (\vec{r}_1 - \vec{r}_2); \\ m_2 \ddot{\vec{r}}_2 = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} (\vec{r}_2 - \vec{r}_1); \\ \dot{m}_1 = \alpha; \\ \dot{m}_2 = -\alpha. \end{cases} \quad (2)$$

Переписываем данные уравнения в нормальный вид, записываем векторные уравнения и переписываем их в векторы фазовых координат. Далее интегрируем систему дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты.

Если обмена массами не происходит ( $\alpha = 0$  кг/с), то звёзды движутся по эллиптической орбите, как показано на рисунке 1. При обмене массами ( $\alpha = 140$  кг/с) движение звёзд существенно изменяется и показано на рисунке 2.

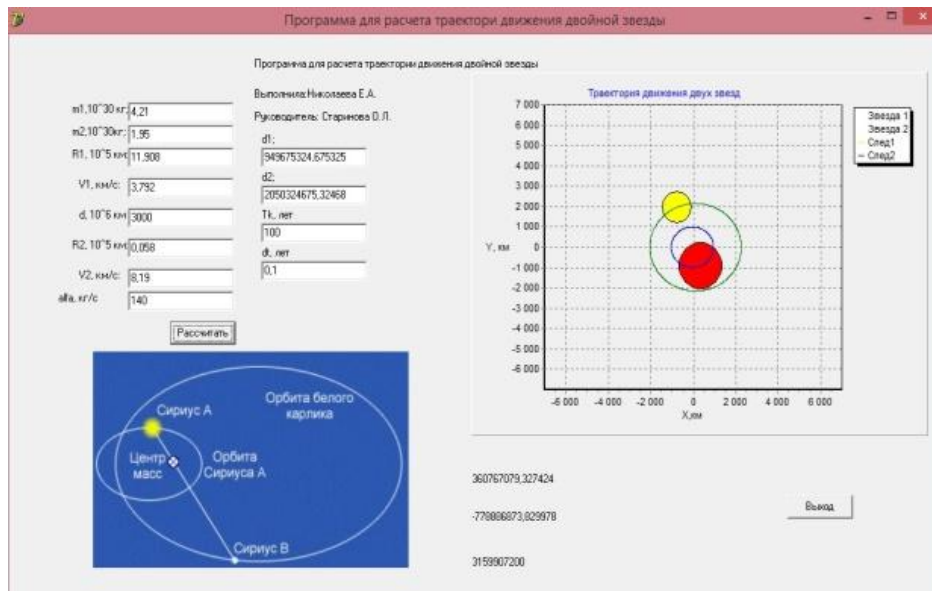


Рис. 1. Движение звезд Сириус А и Сириус В по эллиптической орбите без массопереноса

В результате проделанной работы было проведено обширное ознакомление с двойными звёздами, с их видами, траекторией движения и массопереносом вещества между ними.

Также была создана компьютерная модель в пакете Delphi, имитирующая вращение двойной звезды по законам гравитации Ньютона, с приближением движения тел к равноускоренному за заданный интервал времени. Данная модель при определенных условиях может достаточно достоверно изображать реальную ситуацию, её достоинства и недостатки были исследованы, а также были найдены и предложены некоторые пути улучшения сходства моделируемой ситуации с реальной. С помощью программы была получена картина массопереноса вещества между двумя звёздами.

С помощью вышеописанной компьютерной модели были проведены эксперименты, в ходе которых была исследована Сириус А и Сириус В. Также были рассмотрены множество других звёзд для проведения экспериментов расчёта необходимых характеристик.

## Секция 1. Космическое машиностроение

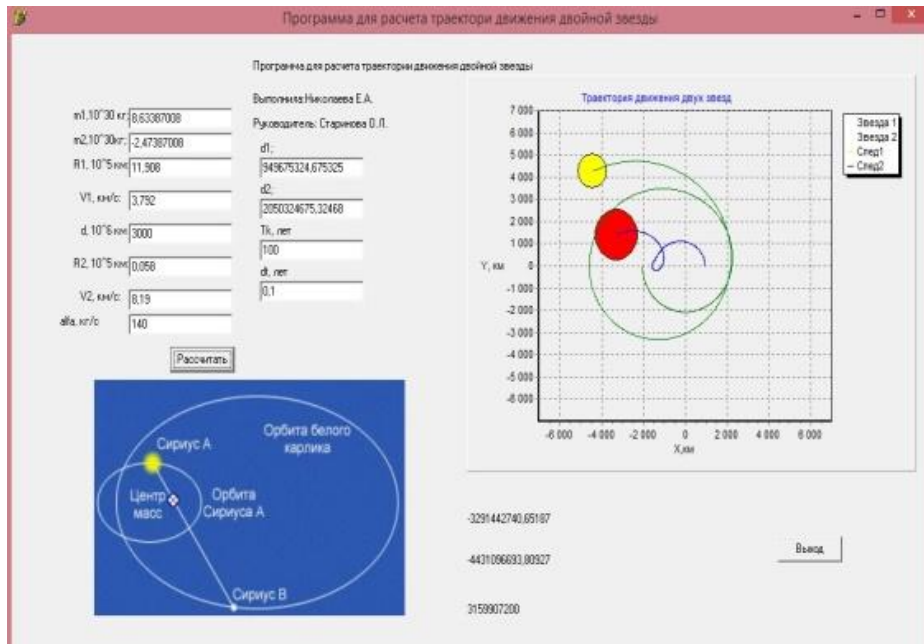


Рис. 2.-Движение Сириус А и Сириус В с учётом массопереноса