

УДК: 524.382-325

ДВИЖЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ ЗВЕЗД В ПРИСУТСТВИИ СИЛЬНОГО ВНЕШНЕГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

В.Г.ГОРБАЦКИЙ, С.П.ПРОХОРОВ

Поступила 22 декабря 1995

В рамках задачи трех тел исследуется движение звезд, являющихся компонентами тесной двойной системы (ТДС), около очень массивного объекта (ОМО). Рассматриваются случаи, когда необходимо учитывать релятивистские эффекты. Показано, что часто при сближении ТДС с массивным телом двойная система распадается на некотором расстоянии от ОМО. Причем во многих случаях распаду ТДС предшествует очень сильное сближение ее компонентов. Кратко обсуждаются возможные последствия распадов ТДС для пространственного содержания таких систем в галактиках.

1. *Введение.* Расчеты, выполненные ранее авторами [1], показали, что сильное внешнее гравитационное поле, например, массивного тела в центре активного ядра галактики (АЯГ), не только существенно влияет на движение тесной двойной системы (ТДС), но и может привести к ее полному распаду на два отдельных тела, гравитационная связь между которыми слаба по сравнению с действием на них внешнего поля. Кроме того, оказывается, что перед окончательным распадом двойной системы ее компоненты могут сближаться настолько, что расстояние между ними будет порядка радиуса звезды. В таких условиях происходит сильное взаимодействие компонентов ТДС и даже возможно их полное слияние. Это должно приводить к большой потере массы звездами и к выделению огромной энергии в различных формах. Таким образом, изучение влияния АЯГ на тесную двойную систему в ее окрестности представляет значительный интерес для астрофизики.

Расчеты в работе [1] проводились без учета релятивистских эффектов, которые при очень тесных сближениях звезд могут сказываться на результате такого сближения. В данной статье сообщается о некоторых результатах исследования движения звезд - компонентов ТДС в рамках

задачи трех тел, но с учетом релятивистских эффектов (в пост-ньютоновском приближении). Обсуждается также вопрос о том, в какой мере процессы распада ТДС в центральных областях галактик могут повлиять на содержание таких систем в галактиках.

2. *Трансформация ТДС при ее движении около очень массивного тела.* В этом разделе кратко излагаются результаты исследования данной задачи в нерелятивистском случае. В рамках астрофизической задачи о взаимодействии звезд - компонентов ТДС основной интерес представляет изменение величины расстояния между компонентами системы $|r_2(t) - r_1(t)|$ при прохождении двойной звезды рядом с очень массивным телом (ОМТ). Размерами всех трех тел на данном этапе исследования мы пока пренебрегаем. Положения всех тел $r_i(t)$ определяются системой уравнений

$$\ddot{r}_i = -G \sum_{j=1}^3 \frac{m_j(r_i - r_j)}{|r_i - r_j|^3}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (1)$$

Здесь m_1, m_2, m_3 - массы компонентов ТДС и масса ОМТ, соответственно, а r_1, r_2, r_3 - соответствующие им радиус-векторы. Кроме величин масс m_1, m_2, m_3 свободными параметрами модели являются: начальная скорость центра масс ТДС V_C , начальный радиус-вектор этой точки R_C , орбитальные элементы системы: длина большой полуоси a , эксцентриситет e , наклон плоскости орбиты i и орбитальная фаза в начальный момент времени $t=0$. Этими величинами определяются начальные условия задачи

$$\begin{aligned} r_{1,2}(0) &= R_C(0) + r_{1,2}^C(0), \\ r_3(0) &= r_{\text{ОМТ}}(0) = 0, \\ v_{1,2}(0) &= V_C(0) + v_{1,2}^C(0), \\ v_3(0) &= v_{\text{ОМТ}}(0) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

здесь $r_{1,2}^C(0)$ и $v_{1,2}^C(0)$ - радиус-векторы и скорости компонентов двойной системы относительно ее центра масс.

Расчеты производились для нескольких сотен наборов значений начальных параметров (подробнее см. [1]). Суммируя результаты этих

вычислений, можно привести несколько важных выводов:

1. Система, движущаяся с расстояния ~ 1 пк при значении прицельного параметра ~ 1 пк и $V_c(0) \sim 5 \cdot 10$ см s^{-1} , вследствие гравитационного фокусирования приближается к ОМТ на расстояние $\sim 10+100$ а.е.

2. Возможные последствия близкого прохождения ТДС около ОМТ могут быть одного из двух типов. Система может распадаться, т.е.

$|r_2(t) - r_1(t)| \xrightarrow{t \rightarrow 0} \infty$. Двойная система может сохраниться, но в сильно изменившемся виде, с совершенно другими, чем до прохождения, значениями орбитальных элементов.

3. Вероятность распада ТДС составляет $\sim 0.3+0.7$ в зависимости от значения массы ОМТ ($10^7+10^8 M_\odot$). Распад более вероятен, если $a(t=0) \geq 10^{-2}$ а.е. или $e(t=0) \geq 0.3$ и $\frac{m_2}{m_1} < 1$.

4. Изменение орбиты начинается резко и происходит очень быстро - за время порядка одного орбитального периода. Орбита изменяется значительно сильнее в случае ретроградного орбитального движения компонентов ТДС.

5. Во многих случаях полному разрушению ТДС или ее трансформации предшествует очень сильное уменьшение расстояния между звездами

$$|r_2(t) - r_1(t)| \sim 10^{-2}+10^{-4} \text{ а.е.}$$

Следует заметить, что при очень тесном сближении компонентов $|r_2(t) - r_1(t)| \approx R_1 + R_2$ (где R_1 и R_2 - радиусы компонентов), приближение точечных масс для компонентов ТДС становится некорректным. Сильное физическое взаимодействие между звездами существенно изменяет их строение и даже может происходить слияние звезд.

Как следует из результатов расчетов, исход сближения ТДС с ОМТ очень сильно зависит от начальных значений a , e , V_c , R_c , а также от орбитальной фазы ТДС в момент резкого усиления возмущения орбиты двойной звезды. Такая зависимость придает эволюционному поведению ТДС, пролетающей около ОМТ, в значительной мере случайный характер.

3. *Влияние эффектов ОТО на движение компонентов ТДС.* Релятивистские эффекты могут стать существенными при прохождении ТДС около ОМТ, если компоненты очень сильно сближаются или

скорости звезд становятся достаточно большими. Влияние эффектов общей теории относительности можно оценить посредством включения соответствующих поправок в уравнения движения. Получению уравнений движения с учетом эффектов ОТО в пост-ньютоновском приближении было посвящено много работ. В частности, такие уравнения для задачи N -тел приведены в книге Брумберга [2]. При использовании гармонической системы координат в случае трех тел эти уравнения имеют вид

$$\ddot{x}_i^p = -G \sum_{j=1}^3 m_j \left\{ \frac{x_i^p - x_j^p}{r_{ij}^3} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(4 \dot{x}_i^p \dot{x}_j^p - \dot{x}_i^p \dot{x}_i^p - 2 \dot{x}_j^p \dot{x}_j^p + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \frac{3}{2} \left(\frac{(x_i^p - x_j^p) \dot{x}_j^p}{r_{ij}} \right)^2 + \frac{5 G m_i}{r_{ij}} + \frac{4 G m_j}{r_{ij}} + \right. \right. \\ \left. \left. + G m_k \left(\frac{4}{r_{ik}} + \frac{1}{r_{jk}} + \frac{1}{2} \frac{(x_i^p - x_j^p)(x_k^p - x_j^p)}{r_{jk}^3} \right) \right] \right\} - \\ - \frac{1}{c^2} \left[(4 \dot{x}_i^p - 3 \dot{x}_j^p)(x_i^p - x_j^p) \frac{\dot{x}_i^p - \dot{x}_j^p}{r_{ij}^3} + \frac{7}{2} \frac{x_k^p - x_i^p}{r_{ij}} \frac{G m_k}{r_{jk}^3} \right], \quad (3)$$

где $i=1,2,3$; $k=1,2,3$ ($k \neq i$, $k \neq j$); $p=x,y,z$.

В рассматриваемом случае должна происходить потеря энергии из системы трех тел в форме гравитационных волн. Оценки этой энергии могут стать полезными при планировании наблюдений гравитационных волн.

Результаты численных расчетов с учетом пост-ньютоновских поправок для рассмотренной ранее модели приведены в работе [3]. Эти результаты показывают, что релятивистские эффекты в некоторых случаях могут сильно изменять конечный результат эволюции системы относительно результата, который получается при использовании уравнений (1). Во многих случаях для моделей систем, у которых без учета поправок ОТО тесное сближение перед распадом не происходит, если использовать уравнения (3) для моделирования поведения системы, тесное сближение должно произойти (см. рис. 1). В некоторых моделях, в которых при нерелятивистском приближении система не распадается, а только сильно

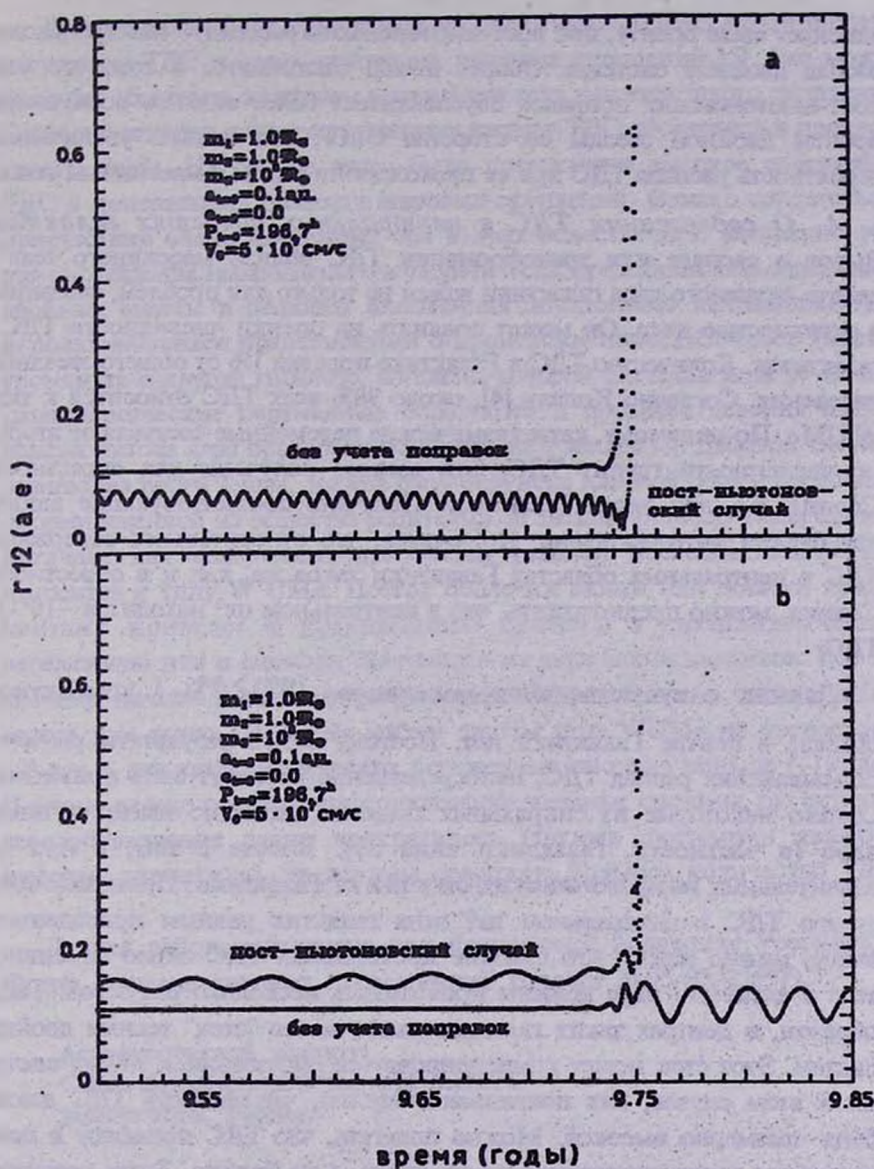


Рис. 1. Примеры отличия эволюции модели при учете поправок ОТО. В первом случае при пост-ньютоновском рассмотрении между компонентами двойной системы непосредственно перед распадом системы происходит тесное сближение, тогда как в обычном случае сближения перед распадом не происходит. Во втором случае в пост-ньютоновском приближении система распадается, тогда как в обычном случае после прохождения рядом с массивным телом система сохранится в измененном виде.

изменяет свою орбиту, при пост-ньютоновском рассмотрении происходит распад двойной системы. Общий вывод заключается в том, что учет пост-ньютоновских поправок обуславливает более сильное возмущение орбиты двойной звезды со стороны ОМТ, что сильно увеличивает вероятность распада ТДС при ее прохождении рядом с массивным телом.

4. *О содержании ТДС в центральных областях галактик.* Вывод о распаде или трансформации ТДС вблизи массивного тела в центре активного ядра галактики важен не только для проблем, связанных с активностью ядер. Он может повлиять на оценки численности ТДС в галактиках. Количество ТДС в Галактике порядка 1% от общего звездного населения. Согласно Коппалу [4], около 90% всех ТДС относится к типу W UMa. По-видимому, катаклизмические переменные составляют вторую по численности группу ТДС. Эти данные получены для окрестности Солнца, т.е. для диска Галактики. Получить соответствующие данные для балджа затруднительно. Но, считая, что относительное содержание ТДС в центральных областях Галактики такое же, как и в окрестности Солнца, можно предположить, что в центральном пк³ находится $\sim 10^4 + 10^5$ ТДС.

Данных о существовании массивного ($m \geq m_0$) компактного объекта в центре Галактики нет. Поэтому в ней результаты расчетов, описывающих распад ТДС, непосредственно не могут быть применены. Однако некоторые из спиральных галактик очевидно имеют активное ядро (в частности, галактики типа Sy). Вместе с тем, в них нет значительных морфологических отличий от Галактики. Принимая количество ТДС в центральном пк³ этих галактик равным приведенному выше, можно найти, что близкие прохождения ТДС около массивного тела в активном ядре должны происходить несколько раз в год. Таким образом, в центрах таких галактик имеет место "сток" тесных двойных систем. Этот сток может компенсироваться образованием новых систем, но в этом случае, как показывают оценки, численность ТДС должна быть чрезмерно высокой. Можно полагать, что ТДС попадают в центр галактики преимущественно не из диска, а из балджа. Тогда соответственно содержание их в балджах спиральных галактик, обладающих активным ядром, не должно быть столь высоким, как в диске. Возможно, что также и в эллиптических галактиках, имеющих активное ядро, содержание ТДС понижено.

В свете сказанного представляется очень важным факт почти полного отсутствия ТДС в ядрах некоторых шаровых скоплениях [5]. Его можно было бы объяснить наличием массивного тела в центре такого скопления. Согласно широко распространенному взгляду ТДС образуются в процессе захвата звезд. На основе этого было предсказано высокое содержание ТДС в центральных областях шаровых скоплениях. Однако свидетельств присутствия очень массивных тел в этих областях нет. Возможно, что это расхождение наблюдаемого и теоретически предсказанного содержания двойных систем в шаровых скоплениях обусловлено неправильностью использовавшихся представлений о происхождении ТДС. Здесь уместно упомянуть о другой гипотезе, согласно которой системы типа W UMa и катаклизмические переменные образуются в процессе деления быстро вращающегося ядра проэволюционировавшей звезды [6]. Двойная система, возникшая таким путем, должна быть окружена плотной общей оболочкой, сформированной из вещества родительской звезды. Поэтому такая система выглядит как содержащая две звезды главной последовательности и относится к типу W UMa. Потеря оболочки одним или обоими компонентами приведет к превращению системы в катаклизмическую переменную или в систему, состоящую из двух белых карликов. Все эти системы похожи в отношении физических характеристик, на что указывалось уже давно [7]. Время жизни систем типа W UMa не превосходит 10^9 лет, а для катаклизмических переменных оно еще меньше ($\sim 10^8$ лет). Поэтому далеко проэволюционировавшие звездные системы, где активное звездообразование давно прекратилось (такими системами являются шаровые скопления), не должны содержать большое количество ТДС.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (проект №95-02-05597).

Астрономический институт
Санкт-Петербургского государственного
университета, Россия

MOTION OF CLOSE BINARY COMPONENTS IN
PRESENCE OF STRONG OUTER GRAVITY FIELD

V.G.GORBATSKY, S.P.PROKHOROV

The motion of stars that are the components of a close binary system (CBS) near very massive object (VMO) is determined in the frame of three body problem. The cases when it is necessary to take into account relativistic effects are also included in consideration. It is shown that in many cases CBS decays on some distance from VMO and very strong decrease of the distance between components often preceeds the decay. The consequences of CBS decays on content of such systems in galaxies are briefly discussed.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Г.Горбацкий, С.П.Прохоров, Письма в Астрон. ж., №6, 1995, с. 46.
2. В.А.Брумберг, Релятивистская небесная механика, Наука, М., 1972.
3. С.П.Прохоров, Вестн. ЛГУ (в печати).
4. Z.Kopal, Publ.Astron.Soc.Pacif, 83, 521, 1971.
5. M.H.Share *et al.*, Astrophys.J., 441, 617, 1975.
6. V.G.Gorbatsky, Astroph. Space Sci., 33, 325, 1975.
7. R.Kraft, Adv.Astron.Astrophys, 2, 1963.