

УДК 524.7

## Численная модель тройной системы со скрытыми массами

Л. Г. Киселева

Построена численная модель тройной системы гравитирующих тел с непрерывно распределенным по изотермическому закону скрытым веществом. Показано, что наличие скрытой массы препятствует контактным столкновениям и слиянию компонентов системы. Обсуждается вопрос о преобладании слабовращающихся звездных систем типа E-галактик в группах со значительными скрытыми массами.

*A NUMERICAL MODEL OF THE TRIPLE SYSTEM WITH HIDDEN MASSES, by Kiseleva L. G.—A numerical model of the gravitating triple system with a hidden matter distributed continuously according to the isothermal law is given. It is shown that the presence of hidden mass prevents the contact collisions and coalescence of the components. A problem on domination of slowly rotating stellar systems (of E galaxies type) in groups with large hidden masses is discussed.*

Вопросы, связанные с динамикой системы небольшого числа гравитационно-связанных тел, в которой возможны неупругие контактные столкновения компонентов, возникают при изучении процессов образования и эволюции галактик и их групп [4]. Компоненты рассматриваемой системы могут представлять собой протогалактические газовые фрагменты или уже сформировавшиеся галактики с относительно небольшим содержанием остаточного газа. Многие черты эволюции таких систем удается проследить уже в рамках модели трех сферических компонентов одинаковых масс, покоящихся в начальный момент времени. В проведенной ранее (по разработанной в Астрономической обсерватории Ленинградского университета методике [1, 3]) серии численных экспериментов исследовалась динамика плоских тройных систем, состоящих из газовых фрагментов [2] или уже сформировавшихся галактик.

Цель нашего численного моделирования — выяснение возможности контактных столкновений двух компонентов тройной системы и определение вероятности их слияния (коалесценции) при таких столкновениях. Для газовых фрагментов считалось, согласно [4], что их столкновение приводит к слиянию, если расстояние между центрами не больше одного радиуса фрагмента (практически независимо от относительных скоростей сталкивающихся тел). Для выяснения результата столкновения двух галактик применялся критерий слияния [1], в котором существенна зависимость и от прицельного параметра, и от относительных скоростей. Оказалось, что неупругие контактные столкновения особенно эффективны для систем протогалактических газовых фрагментов. При значениях радиуса фрагментов в момент их первого двойного сближения  $r \in [0.001, 0.1]d$ , где  $d$  — средний размер тройной системы (см. систему динамических единиц [3]), в большинстве случаев происходит слияние пары газовых фрагментов (50.2 % случаев при  $r=0.001d$  и 96.7 % при  $r=0.1d$ ) [2]. В случае триплетов галактик высокие относительные скорости компонентов препятствуют в принятых нами моделях их слиянию даже при очень близком прохождении тел.

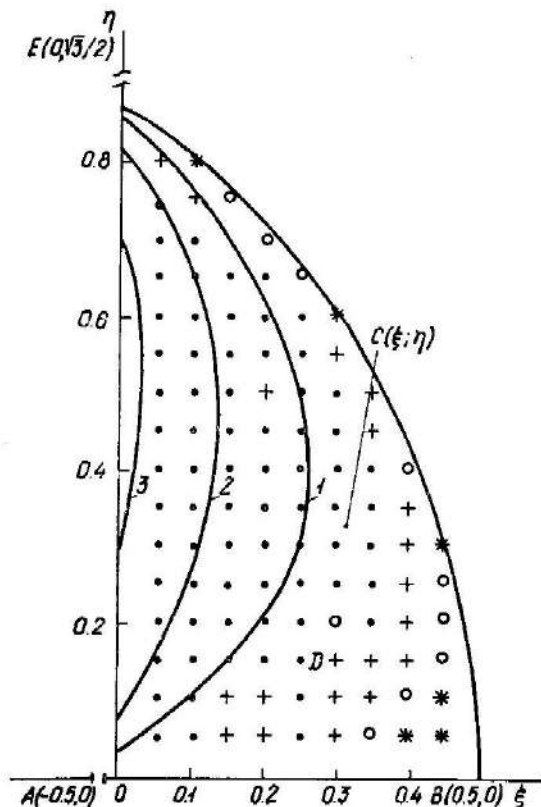
Цель данной работы — изучение динамики тройных систем при наличии скрытых масс. Как известно, для многих групп и скоплений галактик вириальная масса гораздо больше массы, определенной по общей светимости галактик, что рассматривается как указание на наличие в этих системах значительных скрытых масс (см., например, [5]). В проведенных нами численных экспериментах изучались модели с изотермическим распределением [8] скрытого вещества. Считалось, что центр распределения скрытого вещества совпадает в начальный момент времени с центром масс тройной системы. Масса скрытого вещества внутри сферы радиуса  $R$  есть  $M(R) = M_0(R/R_0)$ , где  $M_0$  — полная масса скрытого вещества в объеме системы,  $R_0$  — радиус сферы, внутри которой заключена вся скрытая масса  $M_0$ . Рассмотрены модели, в которых скрытая масса  $M_0$  равна  $1M_T$ ,  $3M_T$  и  $10M_T$ , где  $M_T$  — суммарная масса трех тел. При расчете пренебрегали обратным влиянием тел на распределение скрытой массы. Последнее приближенно

справедливо, очевидно, для моделей с большой ( $M_0 \gg 3M_T$ ) скрытой массой; можно предполагать, что учет такого влияния качественно не меняет результат исследования и для меньших скрытых масс ( $M_0 \approx M_T$ ).

Многообразие начальных конфигураций тройных систем с компонентами равных масс и нулевыми начальными скоростями представлено (см. [3]) областью  $D$  на рисунке. Компоненты  $A$  и  $B$  тройной системы находятся в точках с координатами  $(-0.5, 0)$  и  $(0.5, 0)$  соответственно. Перемещая третий компонент  $C$  с координатами  $(\xi, \eta)$  по области  $D$ , можно получить все возможные начальные конфигурации тройных систем. Проводилось равномерное сканирование области с шагом  $\Delta\xi = \Delta\eta = 0.05 AB$  (всего по 110 вариантов начальных условий для каждого значения  $M_0$ ). Изучалась динамика систем газовых фрагментов, способных испытывать неупругие контактные столкновения, и систем галактик, ведущих себя при контактных взаимодействиях как бесстолкновительные.

Численные эксперименты показали, что скрытая масса существенно изменяет характер эволюции системы протогалактических газовых фрагментов. Сплошные зоны слияния

фрагментов с указанными выше радиусами, обозначены звездочкой, кружком и крестиком соответственно. Точками отмечены начальные конфигурации, при которых слияния фрагментов с  $r \in [0.001, 0.1]d$  не происходят



Область  $D$  всех возможных начальных конфигураций тройных систем. Сплошные зоны, приводящие к слиянию фрагментов с радиусами  $r$ , равными 0.001, 0.01, 0.1  $d$ , в системах без скрытого вещества заключены соответственно между кривыми 1, 2, 3 и границей  $BE$  области  $D$ . Для моделей со скрытой массой  $M_0 = 3M_T$  начальные конфигурации, приводящие к слиянию фрагментов с указанными выше радиусами, обозначены звездочкой, кружком и крестиком соответственно. Точками отмечены начальные конфигурации, при которых слияния фрагментов с  $r \in [0.001, 0.1]d$  не происходят

ний компонентов при их первом двойном сближении для систем без скрытого вещества [2] (рисунок) можно проследить при наличии скрытой массы  $M_0 \gg M_T$  (в деформированном и уменьшенном виде) практически только для фрагментов с  $r \gg 0.01d$ . Единичные слияния фрагментов с меньшими радиусами соответствуют, как правило, начальным конфигурациям типа «равнобедренный треугольник» в узкой зоне вблизи границы  $BE$  области  $D$  и иерархическим системам в правом нижнем углу этой области (рисунок). Зависимость относительной частоты  $n/N$  слияний фрагментов с  $r_1$ , равными 0.001, 0.01 и 0.1  $d$ , от полной массы скрытого вещества  $M_0$  показана в табл. 1. С увеличением  $M_0$  вероятность слияния фрагментов значительно уменьшается.

Что касается тройных галактик с соответствующим критерием слияния [11], то в наших моделях скрытые массы делают невозможным близкое прохождение тел и тем самым исключают их слияние. В табл. 2 приведены значения среднего минимального расстояния  $\langle r_{min} \rangle$  между галактиками при их первом двойном сближении (в единицах радиуса галактик) и средние значения относительных скоростей  $\langle v_{rel} \rangle$  сближающихся

Таблица 1. Зависимость вероятности  $n/N$  слияния пары газовых фрагментов от скрытой массы  $M_0$

$M_0/M_T$	0			1			3			10		
$r$	0.001	0.01	0.1	0.001	0.01	0.1	0.001	0.01	0.1	0.001	0.01	0.1
$n/N$	0.50	0.73	0.97	0.12	0.24	0.54	0.06	0.15	0.33	0.03	0.07	0.13

тел в момент наиболее близкого прохождения (в единицах внутренней дисперсии скоростей в галактике).

Увеличение среднего минимального расстояния между телами при первом двойном сближении происходит потому, что, как показывает анализ траекторий движения, скрытая масса направляет тела к центру системы, через который они проходят в разные моменты времени.

**Таблица 2. Средние минимальные расстояния и относительные скорости сближающихся галактик**

$M_0/M_T$	0	1	3	10
$\langle r_{\min} \rangle \pm \sigma_r$	$0.13 \pm 0.07$	$0.66 \pm 0.72$	$1.47 \pm 1.87$	$2.11 \pm 1.97$
$\langle v_{rel} \rangle \pm \sigma_v$	$5.12 \pm 0.15$	$5.34 \pm 0.78$	$5.01 \pm 2.08$	$6.16 \pm 2.83$

Примечание.  $\sigma_r$  и  $\sigma_v$  — стандартные отклонения.

Согласно предположениям и расчетам, приведенным в работах [4, 7], вращательные свойства, а с ними и морфологический тип галактик в группах могут быть связаны с возможностью неупругих столкновений газовых фрагментов на ранней стадии эволюции протогруппы. Когда столкновение имеет неупругий характер и сопровождается слиянием двух газовых фрагментов, может образоваться сгущение, обладающее значительным спиновым моментом, который обусловлен исходным орбитальным моментом относительного движения этих двух фрагментов. Таким путем могли бы формироваться спиральные галактики. В описанных выше численных моделях средние значения удельных спиновых моментов «продуктов слияния» газовых фрагментов при их первом двойном сближении согласуются по порядку величины с типичными моментами наблюдаемых дисковых галактик. Поскольку возможность слияния существенно определяется величиной скрытой массы, находящейся в объеме протогруппы, преобладание быстро вращающихся спиральных галактик может свидетельствовать о малой величине скрытой массы в группе, а преобладание слабо вращающихся эллиптических галактик указывает на наличие значительной скрытой массы.

Изучение возможности корреляции морфологического типа галактик с величиной скрытой массы, о которой можно судить по дисперсии скоростей или отношению масса — светимость, для двойных галактик из списка И. Д. Караченцева [10], показало, что она действительно прослеживается (указание на такую же корреляцию имеется в [6]). Ранее эту закономерность отмечал Тернер [12]. Некоторыми авторами подобная корреляция обнаружена для групп галактик [9, 13]. Изложенные данные заслуживают детального обсуждения в отдельной работе.

В дальнейшем предполагается рассмотреть модели, в которых центр распределения скрытого вещества не совпадает с центром масс тройной системы, а также трехмерные модели с ненулевыми начальными скоростями.

Автор благодарит А. Д. Чернина, Ж. П. Аносову за обсуждение результатов и В. В. Орлова за проведенный анализ возможности существования корреляции между морфологическим типом галактик и величиной скрытой массы.

1. Агекян Т. А., Аносова Ж. П. Исследование динамики тройных систем методом статистических испытаний // Астрон. журн.— 1967.—44, вып. 6.— С. 1261—1273.
2. Аносова Ж. П., Киселева Л. Г., Орлов В. В., Чернин А. Д. Тесные сближения и коалесценция в тройных системах гравитирующих масс // Астрон. циркуляр.— 1986.— № 1451.— С. 1—3.
3. Аносова Ж. П., Орлов В. В. Динамическая эволюция тройных систем // Тр. Астрон. обсерватории Ленингр. ун-та.— 1985.—40.— С. 66—144.
4. Бараусов Д. И., Ушаков А. Ю., Чернин А. Д. Сверхзвуковые столкновения самогравитирующих газовых масс.— Л., 1986.—25 с.— (Препринт / АН СССР. Физ.-тех. ин-т; № 1016).
5. Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Введение в космогонию.— М.: Наука, 1978.—383 с.
6. Караченцев И. Д. Дисперсия скоростей в малых системах галактик // Крупномасштабная структура Вселенной.— М.: Мир, 1981.— С. 22—31.

7. Чернин А. Д. О происхождении вращения галактик. II // *Астрофизика*.— 1977.—13, вып. 1.— С. 69—78.
8. Эйнасто Я. Гипергалактики // *Крупномасштабная структура Вселенной*.— М.: Мир, 1981.— С. 63—74.
9. Gott I. R. III, Turner E. L. Group of Galaxies. III. Mass-to-light ratios and crossing times // *Astrophys. J.*— 1977.—213, N 2.— P. 309—322.
10. Karachentsev I. D. New radial velocities for 301 pairs of galaxies // *Astron. J. Suppl. Ser.*— 1980.—44, N 1.— P. 137—149.
11. Roos N., Norman C. A. Galaxy collisions and their influence on the dynamics and evolution of groups and clusters of galaxies // *Astron. and Astrophys.*— 1979.—76, N 1.— P. 75—85.
12. Turner E. L. Binary galaxies. II. Dynamics and mass-to-light ratios // *Astrophys. J.*— 1977.—208, N 2.— P. 304—316.
13. Vennik J. A list of nearby groups of galaxies.— Tallinn, 1984.—65 p.

Ленингр. пед. ин-т  
им. А. И. Герцена

Поступила в редакцию 01.09.86,  
после доработки 27.10.86