АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 4 МАЙ, 1968 ВЫПУСК 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В ГАЛАКТИЧЕСКОМ ПОЛЕ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Т. А. АГЕКЯН, Н. Л. ПРИМАК

Поступила 10 октября 1967

Численным интегрированием на ЭВМ уравнений движения в плоской задаче определялся результат прохождения звезды поля около двойной звезды. Всего сосчитано $n=547$ прохождений со случайными начальными условиями при фиксированных эксцентриситете двойной ($e_0=0.3, 0.6, 0.9$) и $c=2, 4, 8$ (c — отношение кинетической энергии движения звезды поля относительно двойной к абсолютной величине внутренней энергии двойной). Определено число случаев: n_1 — сохранения двойной и удаления звезды поля, n_2 — захвата звездой поля одного из компонентов двойной при удалении второго компонента, n_3 — распада на три одиночные звезды. n_1/n растет с увеличением c. n_2/n при $c=2$ составляет почти 0.5, с увеличением c убывает. n_3/n с увеличением c сначала растет, затем убывает. Определены $\overline{a}$, σ_a, $\overline{e}$, σ_e в парах после взаимодействия.

Двойные звезды, находясь в общем галактическом поле, испытывают гравитационное воздействие проходящих мимо звезд, что должно вызывать статистически определенную эволюцию орбит двойных звезд.

Теоретически этот вопрос был рассмотрен В. А. Амбарцумяном [1], а затем Л. Я. Гуревичем и Б. Ю. Левиным [2]. В [1] показано, что при быстром прохождении звезд поля около двойной системы большая полуось системы возрастает. В [2] сделан вывод, что двойные звезды, у которых энергия орбитального движения больше по абсолютной величине средней энергии поступательного движения звезд, приходящейся на одну степень свободы, в среднем уменьшают большую полуось орбиты. В противном случае полуось орбиты в среднем увеличивается, то есть преобладает тенденция к распаду.

Более подробные результаты обещает дать применение к исследованию данного вопроса метода статистических испытаний. Недавно он был использован Ябушита [3].

Ябушита рассмотрел для двойных звезд с большой полуосью $a_0 = 10^2$, 10^3, 10^4 а. е. и эксцентриситетом $e_0 = 0.3$ соответственно 450, 1000 и 500 прохождений звезд со скоростью 20 *км/сек*. Прицельное расстояние от центра инерции двойной не превосходило a_0. Влияние проходящей звезды оценивалось по среднему значению прироста энергии двойной. Ябушита получил вероятность распада двойной, оказавшуюся равной 0.23 при $a_0 = 10^2$ а.е. и $a_0 = 10^3$ а. е. и <0.002 для $a_0 = 10^4$ а.е. Не произошло ни одного образования новой пары, то есть захвата проходящей звездой одного из компонентов двойной при уходе второго компонента.

В примерах, рассмотренных в работе [3], кинетическая энергия поступательного движения проходящей звезды в десятки раз превосходила абсолютную величину внутренней энергии пары.

В настоящей работе метод статистических испытаний применен к более медленным прохождениям звезд поля около двойной звезды. Хотя такого рода прохождения происходят реже, влияние одного прохождения в этом случае должно быть более сильным.

Изложение метода. Для получения результата в общем виде за единицу длины примем большую полуось орбиты ($a_0 = 1$), за единицу времени — период обращения двойной ($T = 1$) и за единицу массы — массу звезды ($m = 1$). Будем рассматривать случай, когда массы всех звезд одинаковы. Тогда в принятой системе единиц постоянная тяготения $G = 2\pi^2$.

Чтобы уменьшить объем вычислительной работы, рассмотрим плоскую задачу — проходящая звезда движется в плоскости орбиты двойной.

Необходимо разработать систему случайных начальных условий. Совместим начало координат O с центром инерции двойной и направим ось OX по большой оси орбиты. Время t, прошедшее от последнего прохождения компонентов через периастрий до момента начала счета, примем первым случайным числом, равномерно распределенным в промежутке [0, 1]. Тогда координаты и скорости компонентов A_1 и A_2 двойной в начальный момент определяются выражениями

$$
\begin{aligned}
x_1 &= -x_2 = \frac{1}{2}(\cos E - e_0),\\
y_1 &= -y_2 = \frac{1}{2}\sqrt{1-e_0^2}\sin E,\\
x_2 &= -x_2 = -\frac{1}{2}\frac{n\sin E}{1-e_0\cos E},\\
y_1 &= -y_2 = \frac{1}{2}\sqrt{1-e_0^2}\,\frac{n\cos E}{1-e_0\cos E},\\
E &= nt + e_0\sin E,\\
n &= \frac{2\pi}{T}.
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

Положение проходящей звезды поля в начальный момент определим случайными величинами l и α. Первая из них есть расстояние от начала координат точки пересечения W прицельной прямой звезды A_3 с осью OX (см. рис. 1), а вторая есть угол между этими прямыми. Случайные величины l и α считаем равномерно распределенными соответственно в промежутках $[-2, +2]$ и $[0, 2\pi]$. Отрезок WA_3 будем считать постоянной величиной, равной 20.

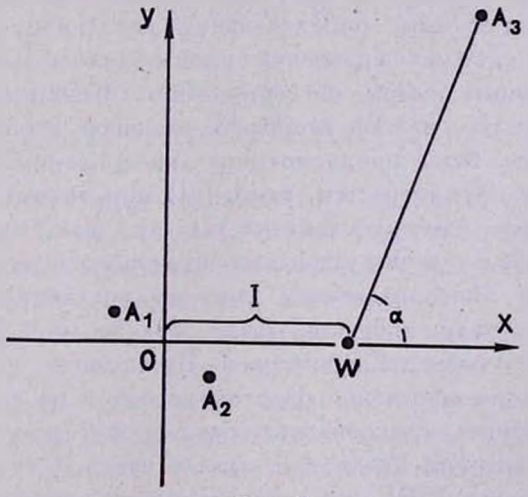

Рис. 1.

Конечно, на самом деле взаимодействие между двойной и звездой поля происходит со сколь угодно большого расстояния, но в условиях численного интегрирования допустимо пренебрежение пред-

шествующим взаимодействием, если начальное расстояние точки принять достаточно большим. Итак, в начальный момент:

$$\left.\begin{aligned} x_3 &= l + 20\cos\alpha, \\ y_3 &= 20\sin\alpha, \\ \dot{x}_3 &= -v_3\cos\alpha, \\ \dot{y}_3 &= -v_3\sin\alpha. \end{aligned}\right| \qquad (2)$$

Величина скорости v_3 звезды поля находится из условия, что кинетическая энергия ее движения относительно центра инерции пары в $2c$ раз больше полной внутренней энергии пары, взятой по абсолютной величине. Это дает

$$v_3 = 2\pi\sqrt{c}\,. \qquad (3)$$

Мы рассмотрели три значения e_0 — эксцентриситета орбиты двойной: 0.3, 0.6 и 0.9 и три значения величины c, определяющей соотношение между энергией звезды поля и внутренней энергией двойной: 2, 4 и 8.

Каждый раз, как фиксированы c и e_0, случайные числа t, l и α в соответствии с равенствами (1—3) определяют начальные состояния трех звезд. Это позволяет интегрировать уравнения движения системы трех тел. Уравнения движения были написаны по отношению к центру инерции системы, в связи с чем были выполнены соответствующие переходы к новым числам, определяющим начальное состояние. Численное решение системы уравнений производилось по методу Рунге-Кутта с переменным шагом интегрирования. Контролем вычислений являлось постоянство полной энергии и главного момента количества движения системы. Была предусмотрена линеаризация уравнений движения по методу Зундмана (см. напр. [4]) при тесных двойных сближениях. Программа была составлена так, что, как только расстояние между какими-нибудь двумя звездами становилось меньше 0.01, счет производился по линеаризованной системе уравнений; когда же все три расстояния между звездами были больше 0.01, счет велся по обычной системе уравнений движения. Вычисление заканчивалось в момент, когда после сближения расстояние одной из звезд от центра инерции двух других становилось больше, чем расстояние звезды поля от центра инерции двойной в начале счета. Случайные числа t, l и α вырабатывались ЭВМ по специальной программе, поэтому при фиксированных c и e_0 одно прохождение вычислялось вслед за другим без остановки машины. По этой причине число сосчитанных прохождений для различных пар значений c и e_0 оказалось не одинаковым.

Результаты статистических испытаний. Основные результаты выполненных статистических испытаний приведены в табл. 1. В ней n — число рассмотренных прохождений, n_1 — число случаев сохранения двойной и удаления звезды поля, n_2 — число случаев, когда звезда поля в результате прохождения захватывает один из компонентов пары и образует с ним новую двойную, а другой компонент пары удаляется, становится одиночной звездой, n_3 — число случаев распада двойной, так что все три звезды становятся одиночными. Величины $\bar{a}$ и $\bar{e}$ означают, соответственно, среднюю полуось и средний эксцентриситет двойной после прохождения, а σ_a и σ_e, соответственно, средние квадратичные отклонения этих величин от среднего.

Таблица 1

c	e_n	n	Сохранение двойной					Образование новой пары					Распад
			n_1	$\bar{a}$	σ_a	$\bar{e}$	σ_e	n_2	$\bar{a}$	σ_a	$\bar{e}$	σ_e	n_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	0.3	51	10	1.68	1.41	0.72	0.28	25	2.36	2.42	0.87	0.21	16
2	0.6	66	16	1.46	0.72	0.75	0.18	35	1.74	2.42	0.75	0.23	15
	0.9	75	23	1.31	1.05	0.88	0.20	32	2.25	2.77	0.88	0.15	20
	0.3	74	27	2.55	4.61	0.54	0.21	14	3.27	3.98	0.74	0.23	33
4	0.6	51	14	1.98	1.71	0.84	0.14	7	1.00	0.22	0.79	0.20	30
	0.9	60	20	2.65	4.28	0.87	0.11	12	1.19	0.74	0.89	0.12	28
	0.3	60	29	1.94	2.08	0.71	0.24	4	7.51	2.50	0.69	0.30	27
8	0.6	59	28	1.82	1.94	0.64	0.20	3	1.42	0.98	0.76	0.26	28
	0.9	51	29	2.89	5.86	0.87	0.18	2	4.05	2.99	0.86	0.36	20

Столбец 5 таблицы показывает, что при значениях c, равных 4 и 8, то есть в тех случаях, когда энергия звезды поля велика, большая полуось сохранившейся двойной существенно увеличивается. Это подтверждает теоретический результат Л. Э. Гуревича и Б. Ю. Левина [2]. Для $c = 2$ также получено некоторое увеличение большой полуоси орбиты, но судить о том, соответствует ли это результатам работы [2], можно будет лишь после дополнительного исследования, поскольку в нашей работе рассмотрен плоский случай движения.

Столбец 7 показывает, что среднее значение эксцентриситета у сохранившихся пар приближается к 0.76, при этом сказывается влияние значения эксцентриситета до сближения. Среднее значение эксцентриситета вновь образовавшихся пар, согласно столбцу 12, равно 0.80. Здесь отклонения от среднего значения носят, по-видимому, случайный характер.

Наиболее интересным результатом выполненных вычислений является, по нашему мнению, соотношение между числом качественных следствий прохождения звезды поля около двойной звезды. Эти соотношения мало зависят или, возможно, вовсе не зависят от начального значения e_0. Решающую роль играет величина c. Поэтому рассмотрим табл. 2, составленную согласно данным табл. 1 и показывающую соотношение качественных результатов прохождения звезды поля около двойной звезды в зависимости от значения c и независимо от e_0.

Таблица 2

c	n	n_1	n_1/n	n_2	n_2/n	n_3	n_3/n
2	192	49	0.25	92	0.48	51	0.27
4	185	61	0.33	33	0.18	91	0.49
8	170	86	0.51	9	0.05	75	0.44

Наиболее неожиданным результатом является высокая частота образования новой пары, в особенности для малых значений c. При $c = 2$ почти в половине всех случаев происходило образование новой пары с участием звезды поля и превращение одного из компонентов прежней пары в одиночную звезду. С увеличением c, то есть увеличением скорости проходящей звезды, относительная частота образования новых пар уменьшается.

Относительная частота сохранения двойной, по данным табл. 2, возрастает с увеличением c. Относительное число распадов с увеличением c сначала растет, а затем уменьшается.

Полученные результаты показывают возможно существенную роль процесса замены одного из компонентов двойной звезды проходящей звездой поля. Однако на основании данного исследования еще нельзя оценить долю двойных звезд с замененными компонентами среди наблюдаемых двойных звезд. Необходимо выполнить вычисления для трехмерной задачи и рассмотреть больший интервал для случайной величины l.

Ленинградский государственный университет

THE INVESTIGATION OF THE EVOLUTION OF BINARY STARS IN THE GALACTIC FIELD BY THE METHOD OF STATISTICAL TESTS

T. A. AGEKIAN, N. L. PRIMAK

The result of transit of a field star near the binary star was determined by numerical integration of the equation of motion in a plane

problem by mean of an electronic computer. A total of $n = 547$ transits have been calculated with random initial conditions at fixed exccentricities of binaries ($e_0 = 0.3, 0.6, 0.9$) and $c = 2, 4, 8$ (c is the ratio of kinetic energy of motion of the field star relative to the binary and the absolute value of internal energy of the binary). The numbers of cases have been determined: n_1 — of the preservation of the binary and recession of the field star, n_2 — of the capture by the field star of one of the components of the binary and removal of the second component, n_3 — of the decay into three single stars. The ratio n_1/n grows with the increase of c. When $c=2$, n_2/n is almost 0.5 and decreases with the increase of c. The ratio n_3/n first increases and then decreases with the increase of c. The values of $\bar{a}$, σ_a, $\bar{e}$, σ_e for pairs after interaction have been determined.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. А. Амбарцумян*, Астрон. ж., 14, 207, 1937.
2. *Л. Э. Гуревич, Б. Ю. Левин*, Астрон. ж., 27, 273, 1950.
3. *S. Iabushita*, MN, 133, 2, 1966.
4. *Г. Н. Дубошин*, Небесная механика, М., 1964.