

Л. В. Мярзоян

К статистике двойных звезд типа Вольф-Райе

(Представлено В. А. Амбарцумяном 21 VI 1949)

Звезды Вольф-Райе имеют исключительное значение с точки зрения понимания эволюции звезд. Особенно это выяснилось после установления В. А. Амбарцумяном существования нового типа звездных систем: звездных ассоциаций⁽¹⁾. Они часто являются членами таких ассоциаций. Цель настоящей работы — определить относительную частоту встречаемости спектрально-двойных среди звезд типа Вольф-Райе.

При этом следует указать, что трудно говорить о полной частоте встречаемости всех двойных звезд типа Вольф-Райе, независимо от величины больших полуосей орбит a и значений $\frac{m_2}{m_1}$ отношения масс, поскольку наблюдения позволяют определить спектроскопическим путем двойственность только для определенных интервалов значений этих двух величин. Иными словами, наблюдения позволяют обнаружить двойственность только в том случае, когда звездная пара находится в определенной области диаграммы значений a и $\frac{m_2}{m_1}$. Вместо отношения масс можно пользоваться разностью абсолютных величин и сказать, что наблюдения позволяют определить двойственность только тогда, когда двойная звезда находится внутри определенной области диаграммы ($\lg a, \Delta M$).

Таким образом, статистическая обработка данных наблюдений может дать лишь плотность в определенной области такой диаграммы.

Такие определения плотности на диаграмме ($\lg a, \Delta M$) были выполнены для разных подразделений звезд типа В Васильевым и Мейером⁽²⁾. Оказалось,* что на единицу площади такой диаграммы из 75 звезд типа В попадает в среднем только одна. Кроме того, изучение распределения визуально-двойных типа В показало, что плотность на

* Несмотря на ошибку, допущенную ими в тексте относительно единиц площади на диаграмме, окончательные результаты их, как показала проверка вычислений, выполненная нами, правильны.



такой диаграмме мало меняется даже при больших изменениях $\lg a$ и ΔM . Поэтому, определяя плотность, можно делать приближенное заключение и о полном числе спектрально-двойных среди звезд данного типа.

Многими авторами было указано, что процент спектрально-двойных среди звезд типа Вольф-Райе так же велик, как среди звезд класса В. К сожалению, большая ширина эмиссионных полос в спектрах звезд типа Вольф-Райе и связанная с этим неточность определения лучевых скоростей затрудняет обнаружение их двойственности. Она обнаруживается только тогда, когда орбитальная скорость превышает некоторую минимальную скорость, зависящую от степени размытости линий в их спектрах. Такое превышение имеет место лишь для очень тесных пар.

До настоящего времени было обнаружено девять спектрально-двойных среди звезд типа Вольф-Райе (3,4). Несмотря на это, имея в виду неблагоприятные условия, мешающие обнаружению спектральной двойственности звезд типа Вольф-Райе (неблагоприятный наклон плоскости орбиты к лучу зрения, размытость спектральных линий), можно подозревать, что большинство этих звезд (если не все) являются двойными.

Для спектроскопических двойных звезд на диаграмме $\lg a$ и ΔM (a —большая полуось орбиты главной звезды по отношению к центру тяжести, ΔM —разность звездных величин компонентов пары) может быть построена кривая, ограничивающая область тех значений $\lg a$ и ΔM , при которых звезда будет наблюдаться как спектрально-двойная. Вычисляя величину площади этой области, можно затем определить относительную среднюю плотность двойных на диаграмме, зная число известных двойных звезд, а также всех звезд данного типа. Однако сперва необходимо знать при каждом ΔM максимальное значение a , при котором двойственность еще может быть обнаружена спектроскопическим путем.

Исходя из интеграла энергии для случая двойных звезд в предположении движения по круговой орбите, можно получить для границы области на диаграмме ($\lg a, \Delta M$) равенство (2)

$$a = \frac{G m_2^2}{v^2 (m_1 + m_2)},$$

где v —нижний предел орбитальной скорости, за которым колебания доплеровского смещения у звезд типа Вольф-Райе уже не могут быть обнаружены, а G —постоянная тяготения.

Выражение для a в астрономических единицах будет

$$\frac{a}{a_c} = \frac{\frac{m_2^2}{m_c}}{\frac{m_1}{m_c} + \frac{m_2}{m_c}} \cdot \frac{G m_c}{a_c v^2}, \quad (1)$$

где v в км/сек (величины с индексом c относятся к Солнцу).

Орбитальные скорости у всех известных спектрально-двойных звезд больше 100 км/сек за одним исключением (4). Поэтому в качестве вероятного предельного значения v мы приняли 100 км/сек.

Массы спутников были вычислены по известному соотношению между абсолютной величиной и массой (5)

$$\lg m = 0,577 - 0,1511 M + 0,0101 M^2 - 0,00045 M^3. \quad (2)$$

В качестве среднего значения массы звезды типа Вольф-Райе принято $10 m_{\odot}$ (3). Известно, что абсолютная величина звезд типа Вольф-Райе имеет огромную дисперсию (от $-1^m.8$ до $-7^m.0$ для 50 звезд типа Вольф-Райе в Большом Магелановом Облаке). Санфорд и Вильсон (6) по линиям межзвездного кальция в 12 азотных и 6 углеродных звездах этого типа для средних абсолютных звездных величин нашли соответственно $-2^m.1$ и $-2^m.8$. Билс (7) для одиннадцати звезд типа Вольф-Райе нашел среднее значение абсолютной величины равным $-2^m.8$. Наконец, В. Амбарцумян и Б. Маркарян (8) для звезд типа Вольф-Райе, входящих в ассоциацию вокруг Р Лебеда, нашли значение порядка $-3^m.5$. Нами как вероятное среднее значение абсолютных величин звезд типа Вольф-Райе принято $-3^m.0$.

Для спутника в качестве верхнего предела возможных значений абсолютной величины принято $-4^m.0$ (т. е. допускается, что он в некоторых случаях может быть более ярким компонентом).

Для заданных определенных значений ΔM через $0^m.5$ были вычислены массы спутников, а затем максимальное значение большой полуоси орбиты главной звезды по формулам (2) и (1). Результаты вычислений приведены в нижеследующей таблице, где массы выражены в единицах массы Солнца, а a — в астрономических единицах.

По значениям $\lg a$ и ΔM была построена кривая, ограничивающая для звезд типа Вольф-Райе со стороны

Таблица

$$M_1 = -3^m.0 \quad m_1 = 10.0$$

ΔM	M_2	$\frac{m_2^3}{m_1 + m_2}$	$\lg a$
-1.0	-4.0	16.48	0.16
-0.5	-3.5	11.34	0.60
0.0	-3.0	7.83	9.84
+0.5	-2.5	5.45	9.68
+1.0	-2.0	3.81	9.53
+1.5	-1.5	2.70	9.38
+2.0	-1.0	1.94	9.24
+2.5	-0.5	1.41	9.10
+3.0	0.0	1.04	8.96
+3.5	+0.5	0.77	8.83
+4.0	+1.0	0.58	8.71
+4.5	+1.5	0.45	8.60
+5.0	+2.0	0.35	8.49
+6.0	+3.0	0.22	8.28

больших $\lg a$ ту область значений $\lg a$ и ΔM , в которой звезда может быть наблюдена как спектрально-двойная. Необходимо заметить, что эта область со стороны малых $\lg a$ ограничена благодаря тому, что спутник не может приблизиться к главной звезде во всяком случае ближе своего радиуса. Поэтому область ограничивалась с этой стороны соответствующим значением $\lg a = \lg R$ (R — радиус спутника). У всех девяти известных спектрально-двойных звезд типа Вольф-Райе спутник, когда его спектр виден, оказывается принадлежащим к спектральному классу ОА или раннему В. Исходя из этого, мы для среднего значения $\lg R$ приняли минимальное значение $-1,72$ соответствующее звездам класса B_3 (среднее значе-

ние абсолютных величин таких звезд принято $-1^m.3$ как у Васильева и Мейера, чтобы иметь возможность сравнения их результатов с нашими), и вычисленное по формуле (9)

$$\lg R = \frac{5900}{T} - 0,2 M_v - 0,02.$$

Здесь R —радиус звезды, а T —температура.

Величина площади (когда по ΔM единица равна $1^m.0$, а по $\lg a - 1.0$) оказалось равной приблизительно шести единицам.

Если $f(a, \Delta M)$ —функция распределения двойных звезд типа Вольф-Райе по $\lg a$ и ΔM , то число двойных звезд, большая полуось которых заключена между $a + da$, и ΔM лежит между ΔM и $\Delta M + d\Delta M$ равно

$$f(a, \Delta M) \frac{da}{a} d\Delta M,$$

а число всех двойных звезд этого типа с такими a и ΔM , что они могут быть наблюдаемы как спектрально-двойные, равно

$$\iint_{(\sigma)} f(a, \Delta M) \frac{da}{a} d\Delta M = \bar{f} \cdot s,$$

где \bar{f} —среднее значение функции f , а s —площадь на диаграмме, ограниченная кривой, в нашем случае оказавшаяся равной приблизительно шести.

Число всех звезд типа Вольф-Райе со склонениями большими -30° , над которыми произведены наблюдения со щелевыми спектрографами, близко к 50.

Следовательно, минимальное значение относительной средней плотности спектрально-двойных типа Вольф-Райе на диаграмме $(\lg a, \Delta M)$ равно $\frac{1}{36}$. С другой стороны эта плотность для спектрально-двойных

типа В в среднем $\frac{1}{75}$ (2), т. е. более чем в два раза меньше, чем для звезд типа Вольф-Райе.

Принимая во внимание, что разность ΔM вообще может принимать значения от $-3^m.0$ до $+7^m.0$ и больше, а $\lg a$ от -2 до $+4$, мы видим, что полная площадь диаграммы $(\lg a, \Delta M)$ во всяком случае больше шестидесяти единиц. Если допустить для самой грубой ориентировки в вопросе, что плотность двойных на всей диаграмме имеет одинаковый порядок величины, мы приходим к выводу, что вероятность для звезды Вольф-Райе быть двойной близка к единице, т. е. подавляющее большинство звезд типа Вольф-Райе являются вообще двойными. Даже значительные изменения плотности на диаграмме не могут заметно изменить этот вывод.

Бюраканская Астрофизическая Обсерватория
Академии Наук Армянской ССР
1949, май.

Վոլֆ-Ռայեի ռիսի կրկնակի ասեզների սեպտիսեիկայի տարիվ

Ուսումնասիրված է սպեկտրալ-կրկնակիները հանդիպման տոկոսը Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերի մեջ:

Քանի որ դիտումները թույլ են տալիս սպեկտրոսկոպիկ ճանապարհով հայտնաբերել աստղի կրկնակի լինելը միայն աստղապոլյգի օրրիտի մեծ կիսաառանցքի (a) և կոմպոնենտների զանգվածների հարաբերության արժեքների որոշակի ինտերվալների համար, ապա դժվար է խոսել Վոլֆ-Ռայե տիպի բոլոր կրկնակի աստղերի հանդիպման լրիվ տոկոսի մասին՝ այդ երկու մեծությունների արժեքներից անկախ:

Ուստի, հնարավոր է որոշել միայն $\lg a, -\Delta M$ (զանգվածների հարաբերության փոխարեն կարելի է օգտագործել կոմպոնենտների բացարձակ աստղային մեծությունների տարբերությունը) դիագրամի վրա այն բանի հավանականության խտությունը, որ Վոլֆ-Ռայե աստղը կրկնակի է, ըստ սրում ունի $\lg a$ -ի և ΔM -ի համապատասխան արժեքներ:

Այդ նպատակով $\lg a$ և ΔM մեծությունների կասկն արտահայտող դիագրամի վրա որոշված է այդ մեծությունների այն արժեքներն ընդգրկող տիրույթի մակերեսը, որոնց դիսկրետ աստղը կդիտվի որպես սպեկտրալ կրկնակի: Այնուհետև հաշվված է Վոլֆ-Ռայե տիպի սպեկտրալ-կրկնակի աստղերի միջին հարաբերական խտությունն այդ տիրույթում: Պարզվել է, որ այն ավելի քան երկու անգամ մեծ է B տիպի սպեկտրալ կրկնակի աստղերի միջին հարաբերական խտությունից:

Ելնելով $\lg a$ և ΔM մեծությունների բոլոր հնարավոր արժեքներին, դիագրամի վրա, համապատասխանող տիրույթի մակերեսից, եզրակացված է, որ Վոլֆ-Ռայե տիպի աստղերը, ճնշող մեծամասնությամբ, ընդհանրապես կրկնակի են:

խտության նույնիսկ զգալի փոփոխություններն այդ դիագրամի շուսումնասիրված տիրույթի վրա չեն կարող էապես փոխել այդ եզրակացությունը:

ЛИТЕРАТУРА — Գ Ի Ս Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. В. А. Амбарцумян. Эволюция звезд и астрофизика. Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1947. 2. И. В. Васильев и А. Г. Мейер. Уч. Зап. ЛГУ, № 31, 1939. 3. Б. А. Воронцов-Вельяминов. Новые звезды и газовые туманности. Изд. АН СССР, 28, М—Л, 1948. 4. О. С. Wilson. Ap. J., 109, 76, 1949. 5. П. П. Паренаго. Астр. журн., 14, 44, 1937. 6. R. Sanford, O. Wilson. Ap. J., 90, 235, 1939. 7. S. Beals. IRAS. Can. 34, 169, 1940. 8. В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян. Сообщ. Бюраканской Обсерватории, вып. II, 1948. 9. П. П. Паренаго. Курс звездной астрономии, 48, ОГИЗ, М—Л, 1948.