

УДК: 524.338.2

СИСТЕМА ВМ Оpi. I. АНОМАЛИЯ ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ

Э.А.ВИТРИЧЕНКО¹, В.Г.КЛОЧКОВА²

Поступила 13 октября 2003

Принята к печати 10 февраля 2004

Измерены лучевые скорости звезды ВМ Оpi по спектрам, полученным спутниками HST и IUE, а также по спектрам, полученным на телескопе БТА. В результате анализа этого материала оказалось, что лучевые скорости главной звезды и спутника показывают эпизодическое положительное смещение на величину ~ 20-30 км/с. Этот факт можно истолковать только как присутствие в двойной системе еще одной звезды. Новые наблюдения позволили существенно уточнить спектроскопические элементы орбиты тесной двойной системы и оценить характер орбиты третьего тела. Предварительные элементы: $E_p = JD2444744$, $P = 1302^d$, $\gamma = 11$ км/с, $e = 0.92$, $K = 20$ км/с, $\omega = 1.6$ рад.

1. *Введение.* Система ВМ Оpi хранит несколько загадок, которые уже несколько десятилетий астрономы не могут разгадать. Самая удивительная из них - характер затмения. Спутник спектрального класса F во время полной фазы, которая длится 8.5 ч, закрывает звезду спектрального класса В3, а спектр последней остается В3. Для объяснения этого явления рассмотрены несколько гипотез, но ни одна из них не получила признание [1].

Другая загадка - эпизодические отклонения лучевой скорости, выходящие за пределы ошибок. Впервые этот факт отметили Поппер, Плавец [2]. Авторы обнаружили, что два измерения лучевой скорости спутника отклоняются от средней кривой на ~20 км/с. При этом точность измерения межзвездных линий ~1 км/с.

Задачами данной работы являются: получение новых измерений лучевой скорости с точностью, превосходящей на порядок точность ранее полученных измерений; по этим измерениям уточнение элементов спектроскопической орбиты, а также подтверждение или опровержение нестабильности кривых лучевой скорости для главной звезды и спутника.

2. *Наблюдательный материал.* В табл.1 приведены сведения о наблюдательном материале.

В первом столбце приведен номер спектра. Первый спектр получен с телескопом HST. Следующие пять спектров взяты из архива спутника IUE с камерой SWP, затем еще пять спектров - с камерой LWR. В конце таблицы даны три спектра, полученные на БТА со спектрографом

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

№	JD2400000+	V_r , км/с	Фаза	O-C, км/с
02010	51567.025	62(1)	0.630	-1
14539	44808.153	-15(1)	0.074	-1
14548	44810.113	-29(1)	0.377	2
14561	44812.070	71(2)	0.679	-4
14576	44813.841	32(2)	0.973	-2
14875	44849.097	-25(1)	0.402	-2
11115	44808.190	-23(3)	0.080	-6
11133	44810.079	-27(1)	0.372	5
11148	44812.107	68(4)	0.685	-8
11164	44813.698	43(1)	0.931	0
11167	44813.885	31(1)	0.960	0
6	51246.239	15(1)	0.054	22
7	51242.239	14(2)	0.436	35
8	52547.530	-6(2)	0.164	36

НЭС [3]. Их номера условные. Во втором столбце приведена юлианская дата для середины экспозиции. Далее дается лучевая скорость, в скобках приведена ошибка. Фазы вычислены с фотометрическими элементами, взятыми из работы Бондарь, Витриченко [4], теоретическая лучевая скорость вычислялась по формуле, приведенной в работе Витриченко и др. [5]. Спектры со спутника IUE обработаны программой NEWSIPS. На каждом из спектров использовано 50-150 линий.

С целью проверки, нет ли систематических ошибок в измерениях лучевой скорости по спектрам, полученным с камерой SWP (2-6 строки табл.1), по двум спектрам были измерены скорости стандартной звезды γ Ori. Измеренная скорость оказалась равной 17(2) км/с, а табличная - 18(1) км/с. Можно сделать вывод об отсутствии систематических различий между наземными наблюдениями и результатами измерения спектров, полученных с камерой SWP.

Лучевые скорости, измеренные по спектрам, полученным с камерой LWR (7-11 строки табл.1), имеют весьма значительную систематическую ошибку [6]. Эта ошибка была определена по разности лучевой скорости межзвездных линий и оказалась равной - 120.4(11) км/с. Она была прибавлена к измеренным скоростям со своим знаком.

3. *Улучшение спектроскопических элементов.* Более высокая точность измерений лучевой скорости позволяет значительно улучшить спектроскопические элементы. Для вычислений использованы первые 11 измерений из табл.1. Результаты приведены в табл.2.

Сравнение элементов, полученных Витриченко и др. [5], с элементами,

полученными в настоящей работе (столбец 2003 в табл.2), показывает их совпадение в пределах ошибок, но точность удалось улучшить в ~2 раза.

Таблица 2

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ

Элементы	1996	2003
K , км/с	66(3)	65.3(14)
γ , км/с	15(2)	12.9(9)
e	0.04(5)	0.02(4)
$a_1 \sin i$, R_\odot	8.4(4)	8.3(2)
f_1 , M_\odot	0.19(3)	0.19(1)

На рис.1 показана новая кривая лучевой скорости, построенная по первым 11-ти измерениям, приведенным в табл.1. Ошибка одного уравнения составляет $\sigma_1 = 3$ км/с, что хорошо согласуется с ошибками наблюдений. Это означает, что кривая лучевой скорости в данном случае не имеет аномалий.

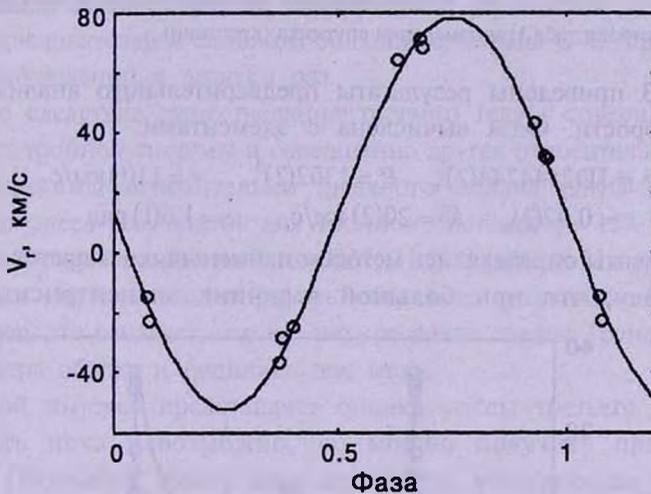


Рис.1. Кривая лучевой скорости по спектрам со спутников IUE и HST. Кружки - измерения, сплошная линия - теоретическая кривая, вычисленная методом наименьших квадратов с элементами, приведенными в табл.2.

4. *Поиски признаков третьей звезды.* На рис.2 показана та же кривая лучевой скорости, что и на рис.1, но добавлены следующие наблюдения. Звездочками показаны наблюдения главной звезды, приведенные в последних трех строках табл.1. Крестиками показаны наблюдения спутника, вычисленные путем прибавления невязок к теоретической лучевой скорости главной звезды. Эти невязки взяты из работ Витриченко и Плачинды [7], Витриченко и Клочковой [8].

Рассмотрение рис.2 ясно показывает, что наблюдаемые отклонения невозможно объяснить ошибками наблюдений. Единственно возможным объяснением является наличие третьей звезды.

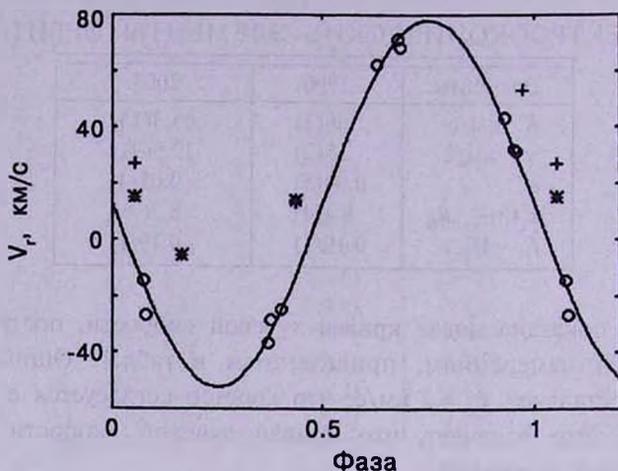


Рис.2. То же, что и на рис.1, но добавлены измерения главной звезды (звездочки, последние три строки табл.1) и измерения спутника (крестики).

На рис.3 приведены результаты предварительного анализа невязок лучевой скорости. Фаза вычислена с элементами:

$$E_p = \text{JD}2444744(7), \quad P = 1302(7)^d, \quad \gamma = 11(1)\text{ км/с}, \\ e = 0.92(3), \quad K = 20(2)\text{ км/с}, \quad \omega = 1.6(1)\text{ рад}.$$

Эти элементы определялись методом наименьших квадратов, но следует иметь в виду, что при большой величине эксцентриситета метод

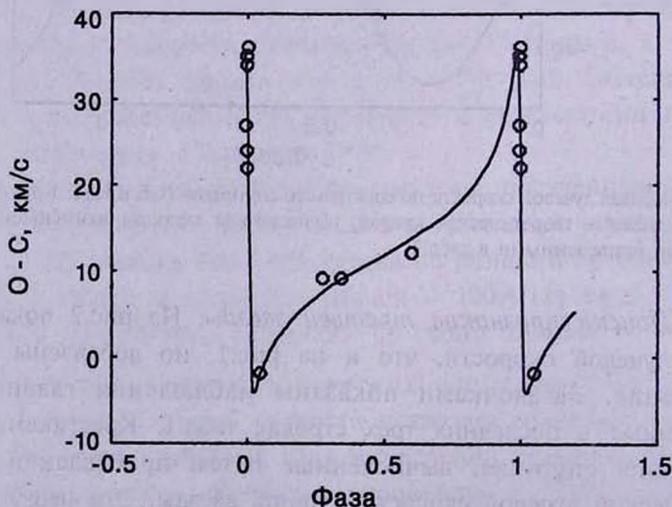


Рис.3. Кривая лучевой скорости для главной звезды, построенная по невязкам лучевой скорости.

неустойчив. Ошибка одного уравнения $\sigma_1 = 5$ км/с, что в ~ 2 -3 раза больше, чем ошибка измерений. По оси ординат отложена невязка в лучевой скорости, вычисленная как разность наблюдаемой лучевой скорости, из которой вычтена теоретическая лучевая скорость для главной звезды. Используются также γ -скорости, вычисленные Доремус [9], Поппером и Плавецем [2], Струве и Титусом [10]. В этих случаях из γ -скорости вычиталось 15 км/с - средняя γ -скорость [5]. Эпоха относится к моменту прохождения звездами периастра.

Рассмотрение рис.3 показывает удовлетворительное согласие наблюдений (кружки) и теоретической кривой (сплошная линия), построенной с элементами, приведенными выше.

5. *Обсуждение.* Выполненный здесь анализ следует считать весьма предварительным, поскольку использован разнородный материал наблюдений.

Полученные выше результаты позволяют разрешить ряд загадок системы ВМ Ori, а именно: аномально большой разброс наблюдений на кривой лучевой скорости, существенно различные γ -скорости у разных исследователей и слишком большие значения O-C, превышающие ошибки наблюдений в десятки раз.

Важное следствие существования третьего тела - совершенно другая γ -скорость тройной системы и совершенно другая относительная скорость тройной системы относительно пылевого облака OMC-1. С учетом полученных здесь результатов для тройной системы $\gamma = 15 + 11 = 26$ км/с. Принимая лучевую скорость облака OMC-1 [11] равной 21 км/с, получаем, что тройная система входит внутрь облака со скоростью 5(2) км/с. В свою очередь это означает, что все четыре яркие звезды Трапеции Ориона входят внутрь облака и родились вне него.

Большой интерес представляет оценка массы третьего тела. Точно это сделать пока невозможно, но можно получить приближенное значение. Обозначим сумму масс двух звезд, участвующих в затмении, через M_1 , а массу третьего тела через M_2 .

Определим большую полуось орбиты для пары затмевающихся звезд по формуле

$$a_1 \sin i = 8.64 \cdot 10^4 \cdot K \cdot P(1 - e^2)^{1/2} / 2\pi = 8.64 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 1302(1 - 0.92^2)^{1/2} / 6.28 = \\ = 1.4 \cdot 10^8 \text{ км} = 0.9 \text{ а.е.}$$

Запишем третий закон Кеплера в форме, удобной для итераций

$$q = 1 / \left\{ \left[\left(M_1 \cdot (1 - q) \cdot P^2 / a_1^3 \right)^{1/3} - 1 \right] \right\}.$$

Здесь $q = M_2/M_1$ - отношение массы третьей звезды к сумме масс двойной системы $M_1 = 8.8 M_\odot$. В предыдущем уравнении есть две

неизвестные величины: q и $\sin i$. Величину $\sin i$ мы не знаем, а потому сделаем два пробных предположения относительно $\sin i$: эта величина равна единице или равна 0.5. Для первого предположения получаем: $q = 0.26$, $M_2 = 2.2 M_\odot$, $a_2 = 3.5$ а.е. Полученное значение массы является нижним пределом, но этот нижний предел по порядку величины совпадает с массой спутника двойной системы. Для второго случая итерация не сходится. Такой результат означает, что $\sin i \gg 0.5$. Вероятнее всего $\sin i \sim 1$, но тогда можно ожидать затмение, поиски которого необходимо предпринять.

Гипотеза о третьей звезде использовалась в работе Василейского и Витриченко [12] для объяснения характера затмения. Как отмечалось в указанной работе, на рисунках, приведенных в статьях Симона и др. [13], Вайгельта и др. [14] замечен след еще одной звезды на расстоянии ~ 0.1 угл. с от затменной системы. Примем расстояние до Трапеции Ориона в 440 пк, тогда 0.1 угл. с $= 1.5 \cdot 10^9$ км $= 10$ а.е., что по порядку величины совпадает с суммой больших полуосей орбит двойной звезды и третьей звезды относительного общего центра масс.

6. Заключение. Получены новые измерения лучевой скорости звезды VM Ori с повышенной точностью. Серии прежних измерений имели ошибку одного измерения ~ 20 км/с, новые измерения имеют ошибку одного измерения ~ 2 км/с. Это позволило выполнить анализ величин $O-C$ - разности наблюдаемой лучевой скорости и вычисленной. Анализ показал, что величины $O-C$ можно объяснить тем, что в системе есть третья звезда, обращающаяся вокруг центра масс тройной системы с периодом ~ 1300 сут.

Авторы благодарны сотрудникам архивов спутников HST и IUE за возможность использовать спектры; сотрудникам службы SIMBAD за полезную информацию в удобной форме, а также В.В.Цымбалу за предоставление пакета программ STARSPP, который мы интенсивно использовали при отождествлении линий.

¹ Институт космических исследований РАН,
Москва, e-mail: vitrich@nserf.iki.rssi.ru

² Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия

BM Ori SYSTEM. I. THE ANOMALIES IN RADIAL VELOCITIES

E.A.VITRICHENKO¹, V.G.KLOCHKOVA²

The radial velocities of BM Ori star have been measured using the spectra obtained with HST, IUE and BTA telescopes. The analysis shows that velocities reveal episodic positive shift 20-30 km/s. It may mean that there is a third star. New observations permit to improve the spectroscopic elements of close binary system and to estimate the possible orbit of the third body. Preliminary elements: $E_p = \text{JD}2444744$, $P = 1302^d$, $\gamma = 11 \text{ km/s}$, $e = 0.92$, $K = 20 \text{ km/s}$, $\omega = 1.6 \text{ rad}$.

Key words: *stars:radial velocities - stars:individual:BM Ori*

ЛИТЕРАТУРА

1. Э.А.Витриченко, Трапедия Ориона, М., 2003.
2. D.M.Popper, M.Plavec, *Astrophys. J.*, **205**, 462, 1976.
3. В.Е.Панчук, В.Г.Клочкова, И.Д.Найденов, Препринт САО, №135, 1999; В.Е.Панчук, Н.Е.Пискунов, В.Г.Клочкова, М.В.Юшкин, С.В.Ермаков, Препринт САО, №169, 2002.
4. Н.И.Бондарь, Э.А.Витриченко, Письма в Астрон. ж., **21**, 700, 1995.
5. Э.А.Витриченко, В.С.Шевченко, В.А.Щербаков, Письма в Астрон. ж., **22**, 185, 1996.
6. Э.А.Витриченко, Письма в Астрон. ж., **27**, 940, 2001.
7. Э.А.Витриченко, С.И.Плачинда, Письма в Астрон. ж., **26**, 456, 2000.
8. Э.А.Витриченко, В.Г.Клочкова, Письма в Астрон. ж., **27**, 381, 2001.
9. C.Doremus, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **82**, 745, 1970.
10. O.Struve, J.Titus, *Astrophys. J.*, **99**, 84, 1944.
11. C.Gouldis, *The Orion complex: a case study of interstellar matter*, Dordrecht: Reidel publishing CO, 1982.
12. А.С.Василейский, Э.А.Витриченко, Письма в Астрон. ж., **26**, 613, 2000.
13. M.Simon, L.M.Close, T.L.Beck, *Astron. J.*, **117**, 1375, 1999.
14. G.Weigelt, Y.Balega, T.Preibisch et al., *Astron. Astrophys.*, **347**, L15, 1999.