

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ ПОИСК ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРИОДА В ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ ТИПА WR+OB. СЛУЧАЙ WR141

© 2024 г. И. А. Шапошников^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Физический факультет, Москва, Россия

E-mail: iv.shaposhnikov@gmail.com

Поступила в редакцию 12.08.2024 г.

После доработки 07.09.2024 г.

Принята в печать 11.09.2024 г.

Представлены результаты новых спектроскопических наблюдений низкого разрешения короткопериодической системы WR141 (WN5o+O5V–III, $P \approx 21.7^d$), а также результаты их сравнения с материалом предыдущих исследований с целью поиска эволюционного изменения орбитального периода. Сообщается об обнаружении векового увеличения орбитального периода WR141 с темпом $\dot{P} = 1.6 \pm 0.9$ с/год, соответствующего темпу потери массы $\dot{M}_{WR} = (3.1 \pm 1.9) \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{год}$ при массах звезд в системе $M_{WR} = 39 \pm 10 M_{\odot}$ и $M_O = 37 \pm 10 M_{\odot}$. Обсуждается корреляция между темпом потери массы звездами WR и их массами.

Ключевые слова: звезды Вольфа-Райе, потеря массы, звездный ветер, спектроскопические двойные

DOI: 10.31857/S0004629924120014 **EDN:** IDJZMQ

1. ВВЕДЕНИЕ

Значительный темп потери массы звездами типа Вольфа-Райе (WR) в случае, когда такая звезда входит в состав тесной двойной системы (ТДС), обуславливает медленную эволюцию ее орбиты. Самым распространенным спутником звезды WR в ТДС выступает массивная звезда спектрального класса O или раннего подкласса B (системы типа WR+OB). При наличии серии фотометрических (для затменных систем) или спектроскопических наблюдений, покрывающих достаточное число орбитальных циклов, изменение орбитального периода может быть оценено путем наложения друг на друга фазовых кривых, соответствующих различным эпохам — это т.н. метод «O–C» [1]. К сожалению, число известных систем WR+OB с достаточно выраженными затмениями ограничивается единицами, поэтому более массовым представляется спектроскопический «O–C» метод, основанный на сравнении кривых лучевых скоростей. Это открывает путь к модельно независимой оценке темпов потери массы звездами WR и исследованию эмпирического соотношения между темпами потери массы звездами WR и их массами.

В недавней серии наших работ было проведено исследование ряда ТДС типа WR+OB: сперва нами

было показано, что сравнения кривых лучевых скоростей для затменных систем дают темпы изменения орбитального периода, согласующиеся с результатами фотометрического метода «O–C» [2, 3], а затем получен результат для системы со слабой фотометрической переменностью [4]. В настоящей работе приведено исследование ТДС типа WR+OB WR141. Период этой системы относительно большой ($\sim 22^d$), поэтому обнаружение орбитальных изменений будет означать большой темп потери массы.

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

2.1. Архивные данные по WR141

Наиболее ранние спектроскопические наблюдения WR141 (HD193928/V2183 Cyg) были опубликованы в работах Хилтнера [5] и Ганеша и Баппу [6]. Там приведены измерения лучевых скоростей в эмиссиях N IV 4058 Å, N V 4603 Å и He II 4686 Å, по которым оценены полуамплитуда изменения лучевой скорости $K_{WR} \approx 130$ км/с и орбитальный период $P = 21.64^d$. Следов звезды-компаньона в спектрах выделено не было, дается спектральная классификация WN5–6.

Детальное исследование WR141 на основе спектроскопических и поляриметрических наблюдений,

полученных в 1988–1989 гг. [7] и 1992 г., было представлено в работе Марченко и др. [8]. На полученных спектрах были уверенно отождествлены абсорбционные линии второй звезды в системе, классифицированной как O5 V–III; более того, с помощью предложенной авторами кросс-корреляционной итерационной процедуры удалось надежно разделить спектры WR и O5. Найденные полуамплитуды лучевых скоростей, $K_{WR} \approx 118$ км/с и $K_O \approx (163 - 194)$ км/с, привели к оценкам масс звезд $M_{WR} \approx (36 - 54) M_\odot$ и $M_O \approx (26 - 33) M_\odot$ для $i = 68^\circ$. Также был уточнен орбитальный период WR141: $P = 21.6895^d$.

Измерения лучевой скорости WR141 в линии He II 5411 Å, полученные по 123 CCD-спектрам высокого разрешения, а также следующие из этих измерений орбитальные параметры несколько позднее опубликовали Иванов и др. [9].

14 измерений лучевых скоростей WR141 в эмиссии N V 4945 Å даны в работе Дсильва и др. [10].

Стоит отметить проявления у WR141 небольшой фотометрической переменности, аналогичной WR127 [11, 12, 13] и согласующейся с орбитальным периодом, хотя в работе [13] приведено несколько отличное значение $P = 21.03^d$.

2.2. Новые наблюдения

Спектроскопические наблюдения системы WR141 проведены с октября 2022 по апрель 2024 г. на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории МГУ с применением двухлучевого спектрографа низкого разрешения TDS [14]. Техника проведения и обработки наблюдений, а также измерений лучевых скоростей описаны в работах [2, 3].

В каждую ночь получалось 3 последовательных кадра с экспозицией 5 мин. Долгая экспозиция необходима для получения отчетливого спектра неба, по линиям которого проводится дополнительная калибровка. В целях избежания перенакопления кадра в области яркого спектра звезды она два-три раза за экспозицию перемещалась с шагом 2 угл. секунды по направлению вдоль щели спектрографа. Результирующий спектр вычислялся усреднением по трем кадрам. Для системы WR141 получены наблюдения в течение 23 ночей.

Кривые лучевых скоростей орбитального движения WR141 получены для ряда наблюдаемых ионов. Кривые лучевых скоростей нормальной звезды построены по измерениям линий бальмеровской серии водорода в синем конце спектра:

выбор именно этих линий обусловлен их хорошей видимостью и слабостью накладывающихся на них эмиссий, интенсивности которых не хватает для существенного искажения профилей и положений измеряемых линий.

Что касается методики измерения кривых лучевых скоростей WR, то здесь имеется два подхода: 1) аппроксимация профиля некоторой заданной функцией (например, функцией Гаусса) с определением положения по его центральной координате, и 2) кросс-корреляционная процедура, в результате которой получается эмпирический профиль исследуемой линии, используемый для сравнения с наблюдаемыми. Вторым подходом имеет явное преимущество для искаженных или блендированных линий, хотя и несет в себе неопределенность нуля-пункта, давая лишь разности в скоростях между спектрами. Кроме того, можно рассматривать профиль не целиком, а только его часть, например крылья профиля ниже определенного уровня. Поскольку профили некоторых эмиссий (например, He II) блендированы абсорбциями от ОВ-звезды вблизи центральной части, а также искажены связанными с областью столкновения звездных ветров особенностями, сравнение положения именно крыльев линии на разных фазах позволяет корректно определить ее смещение. Для слабых эмиссионных линий N V и абсорбций H I предпочтительным оказывается первый метод. Для аппроксимации N V 4603 Å выделялась неблендированная часть профиля (вблизи центра и слева от него), по которому методом наименьших квадратов проводилась гауссиана на уровне континуума (считался свободным параметром для устранения возможных ошибок проведения континуума). Лучевая скорость определялась по центральной длине волны, вписанной в профиль гауссианы. Для более сильных линий He II и N IV, профили которых несколько асимметричны и искажены в центральной части, применялся кросс-корреляционный метод совмещения по крыльям с отсечением части профиля выше середины от максимума. Центральная длина волны определялась как центр масс обрезанного профиля.

В табл. 1, 2 представлены измерения лучевых скоростей для системы WR141. На рис. 1 показаны фазовые кривые лучевых скоростей (примененные для их построения элементы обсуждаются далее).

Таблица 1. Измерения лучевых скоростей [км/с] в спектре WR 141 по абсорбционным линиям H I и эмиссионным линиям He II

HJD 2400000+	H I 3798 Å	H I 3835 Å	He II 4686 Å	He II 5411 Å	He II 6560 Å
59869.35359	14 ± 23	86 ± 30	147 ± 6	133 ± 5	123 ± 10
59883.28984	—	—	224 ± 11	199 ± 19	160 ± 16
59885.22736	-104 ± 24	—	230 ± 22	199 ± 17	187 ± 19
59898.28619	33 ± 26	118 ± 17	13 ± 27	-17 ± 17	-37 ± 18
59906.17340	-41 ± 33	—	198 ± 21	172 ± 17	160 ± 17
59913.27921	-49 ± 42	—	83 ± 6	89 ± 11	69 ± 11
59930.23128	—	-173 ± 16	230 ± 33	222 ± 25	197 ± 28
60061.50265	-101 ± 31	-41 ± 29	237 ± 22	222 ± 25	197 ± 22
60238.35568	-74 ± 25	71 ± 15	122 ± 12	122 ± 4	96 ± 10
60257.28261	-145 ± 27	—	224 ± 12	227 ± 13	201 ± 9
60273.29432	—	92 ± 29	224 ± 7	166 ± 20	183 ± 14
60277.20266	-143 ± 34	—	269 ± 4	238 ± 6	229 ± 4
60298.17538	-125 ± 18	-71 ± 17	250 ± 23	255 ± 12	233 ± 12
60325.64586	-99 ± 28	90 ± 90	83 ± 20	94 ± 5	69 ± 8
60326.64280	-42 ± 21	124 ± 33	51 ± 32	78 ± 14	46 ± 26
60327.64639	116 ± 29	174 ± 21	45 ± 28	61 ± 12	37 ± 18
60329.64448	—	150 ± 19	32 ± 17	17 ± 15	23 ± 13
60330.63052	—	—	19 ± 14	22 ± 15	5 ± 19
60400.54742	49 ± 19	169 ± 20	109 ± 3	67 ± 15	73 ± 22
60401.58439	62 ± 20	88 ± 16	134 ± 7	94 ± 21	128 ± 22
60402.51874	-54 ± 24	114 ± 18	173 ± 6	122 ± 17	155 ± 18
60405.57874	-85 ± 31	-89 ± 21	237 ± 8	216 ± 8	197 ± 10
60417.54610	—	171 ± 26	-19 ± 8	-50 ± 6	-50 ± 6

Таблица 2. Измерения лучевых скоростей [км/с] в спектре WR 141 по эмиссионным линиям N IV и N V

HJD 2400000	N IV 4058 Å	N IV 7117 Å	N V 4603 Å	N V 4945 Å
59869.35359	-52 ± 29	-63 ± 12	-30 ± 6	-142 ± 8
59883.28984	7 ± 36	-38 ± 38	-1 ± 11	-97 ± 23
59885.22736	15 ± 23	8 ± 16	61 ± 9	-85 ± 8
59898.28619	-214 ± 16	-219 ± 19	-228 ± 6	-308 ± 6
59906.17340	15 ± 18	-4 ± 13	45 ± 6	-145 ± 10
59913.27921	-67 ± 18	-122 ± 12	-51 ± 14	-202 ± 12
59930.23128	-7 ± 7	-4 ± 7	-8 ± 8	-64 ± 8
60061.50265	15 ± 8	0 ± 6	29 ± 8	-143 ± 9
60238.35568	-67 ± 12	-76 ± 11	-57 ± 7	-200 ± 6
60257.28261	-7 ± 5	0 ± 6	25 ± 6	-85 ± 8

Таблица 2. Окончание

HJD 2400000	N IV 4058 Å	N IV 7117 Å	N V 4603 Å	N V 4945 Å
60273.29432	-22 ± 34	-63 ± 32	35 ± 12	-216 ± 12
60277.20266	67 ± 8	51 ± 18	92 ± 8	-71 ± 9
60298.17538	-7 ± 38	0 ± 12	39 ± 8	-158 ± 10
60325.64586	-74 ± 10	-101 ± 8	-37 ± 9	-195 ± 12
60326.64280	-118 ± 10	-126 ± 6	-75 ± 8	-236 ± 6
60327.64639	-163 ± 24	-164 ± 6	-127 ± 9	-251 ± 8
60329.64448	-192 ± 13	-249 ± 16	-167 ± 9	-321 ± 7
60330.63052	-200 ± 9	-194 ± 20	-215 ± 8	-288 ± 7
60400.54742	-126 ± 16	-152 ± 22	-96 ± 8	-272 ± 8
60401.58439	-140 ± 12	-131 ± 9	-126 ± 6	-312 ± 6
60402.51874	-140 ± 9	-131 ± 18	-132 ± 8	-280 ± 7
60405.57874	7 ± 13	-4 ± 18	72 ± 6	-145 ± 7
60417.54610	-236 ± 10	-265 ± 12	-189 ± 11	-321 ± 11

WR 141, $HJD = 2460168.88 + 21.68845E$

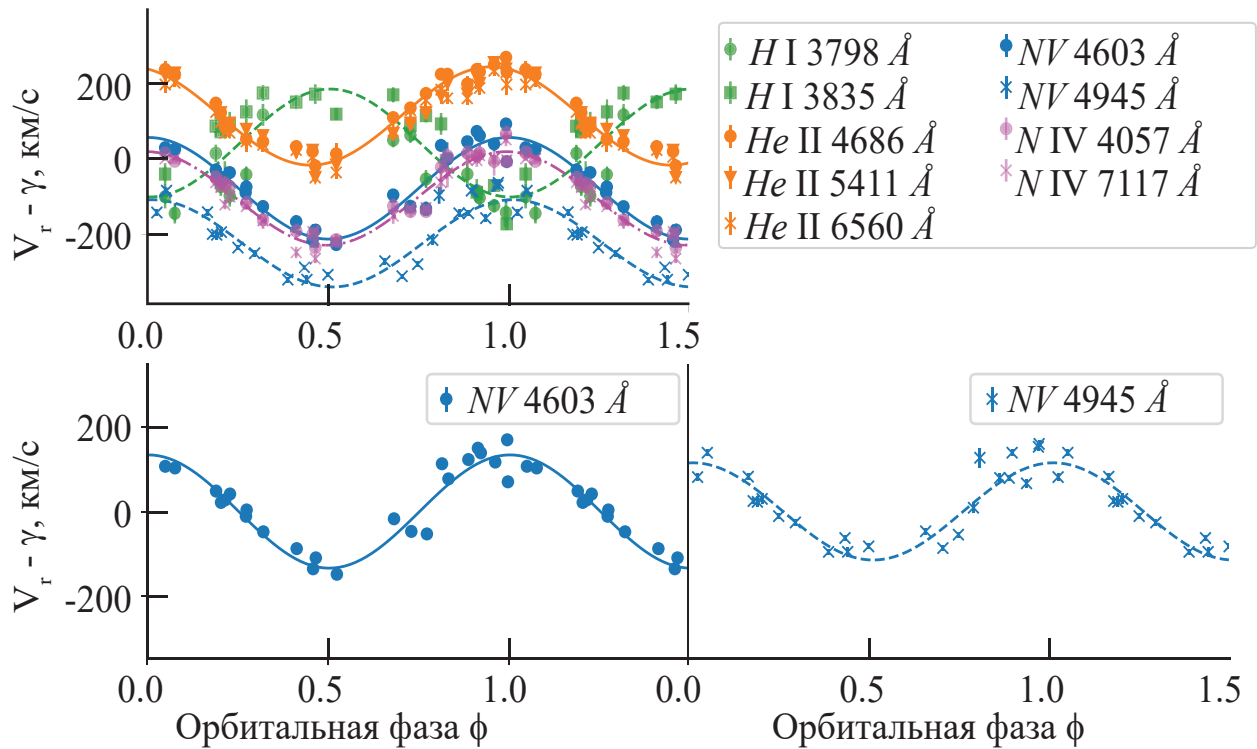


Рис. 1. Кривые лучевых скоростей WR 141. Вверху: все измерения, представленные в табл. 1, 2; внизу: редуцированные за среднюю скорость кривые по линиям 4603 и 4945 Å иона N V, применяемые для сравнения с архивными данными с целью поиска изменения периода.

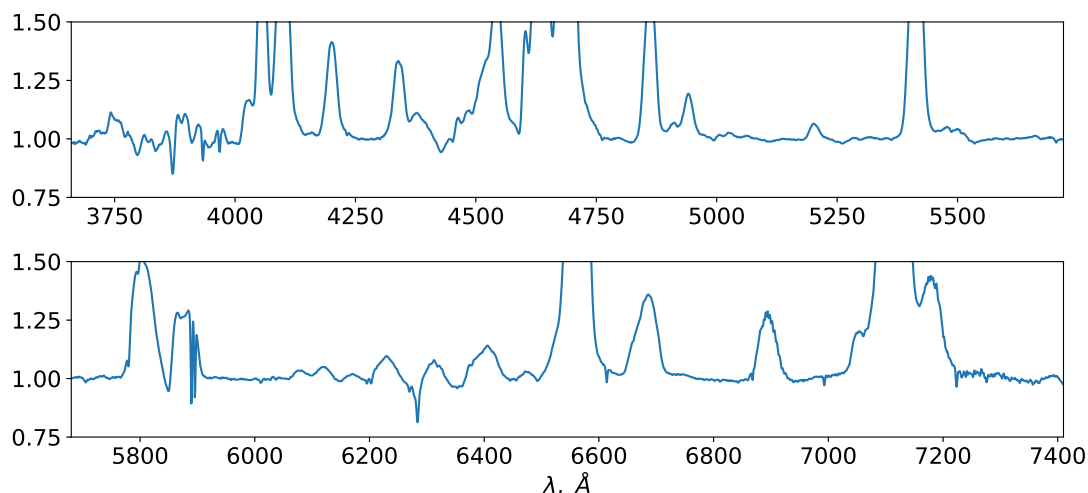


Рис. 2. Усредненный спектр WR 141.

3. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОРБИТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ WR141

На рис. 2 показан спектр WR141, усредненный по серии наших наблюдений. Эмиссионный спектр состоит из сильных и широких линий, характерных для WN5: это линии ионов He II, N IV, а также более слабые линии N V. В синем конце спектра (на верхней панели слева) различимы абсорбционные детали H I, отождествляемые со спутником — O-звездой (за исключением линий Ca II, имеющих межзвездное происхождение). Абсорбции He I практически неразличимы: сравнительно интенсивные детали вблизи длин волн 3889, 4437 и 7065 Å движутся синфазно с эмиссиями WR и имеют сильное синее смещение относительно соответствующих линий (~ -1200 км/с), и, таким образом, не отображают орбитальное движение O-звезды. Изменения положений эмиссионных линий и абсорбций H I происходит в противофазе, что согласуется их отождествлением как спектра WR и O соответственно. Некоторые эмиссии имеют едва заметный синфазный абсорбционный компонент слева от самой эмиссии (профиль типа P Cyg).

Помимо отличия в уровнях средней скорости для разных ионов, характерного для WR, обращают на себя внимание некоторые отклонения в деталях кривых лучевых скоростей. Вблизи фазы 0.7–0.8 имеющие более высокий потенциал ионизации линии N V и N IV несколько отклоняются от соответствующей синусоидальной аппроксимации, в то время как скорости, измеренные по линиям He II, хорошо ложатся на свою кривую. Примечательно, что соответствующие спектрограммы получены в три после-

довательные ночи. Ввиду существенного разброса по длинам волн измеренных линий и очевидной группировки поведения по ионам, возможные ошибки в калибровке не могли бы привести к подобному эффекту. Объяснение подобному явлению может быть дано при учете клочковатости звездного ветра WR, доказанного на основе многоцветной фотометрии затменных систем [15]: вероятно, здесь мы наблюдали появление такого плотного «клочка» в нижних областях протяженной атмосферы звезды.

В табл. 3 перечислены элементы орбиты, вычисленные на основе кривых лучевых скоростей по линиям различных ионов в предположении нулевого эксцентриситета. Для вычисления орбитальных параметров по N V применялись только измерения в линии 4603 Å (линия 4945 Å сильно отличается), для остальных ионов применялись все соответствующие измерения. Большую неопределенность имеет полуамплитуда лучевой скорости O-звезды, определенная по абсорбциям водорода. Отношение масс $q = M_{\text{WR}} / M_{\text{O}}$ по новым данным составляет 1.06 ± 0.05 . В работе [8] приведено решение $K_{\text{WR}} = 118 \pm 5$ км/с и $K_{\text{O}} = 163 \pm 12$ км/с (или 194 ± 23 км/с), т.е. q заметно больше 1. Значения M и a пересчитаны на основе полученных значений при угле наклона орбиты относительно картины плоскости $i = 68^\circ \pm 12^\circ$, оцененном в работе [8] из полиметрических наблюдений. Большая неопределенность в оценках масс звезд и размеров орбит обусловлена существенной неопределенностью угла наклона орбиты. Также стоит отметить характерный для подобных систем фазовый сдвиг ($\Delta\phi$ в табл. 3) кривых по линиям He II относительно прочих.

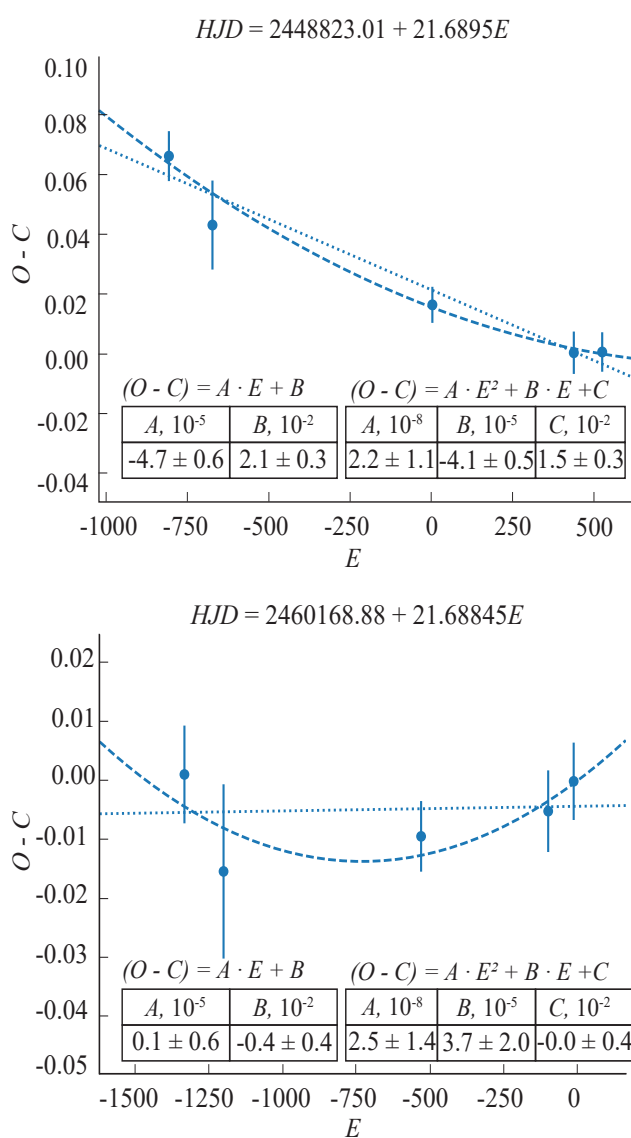
Таблица 3. Параметры орбиты и массы звезд WR 141, определенные по кривым лучевых скоростей при значении периода $P = 21.68845^d$ и начальной эпохе $HJD_0 = 2460168.88$

Ион	K , км/с	γ , км/с	$\Delta\phi$	$M \sin^3 i$, M_\odot	$a \sin i$, R_\odot	M , M_\odot	a , R_\odot
WR (эмиссии)							
N V	134.8 ± 2.4	-78.7 ± 1.7	0.000 ± 0.007	31.2 ± 2.5	62.4 ± 1.1	39 ± 10	67 ± 6
N IV	124 ± 5	-105 ± 4	-0.004 ± 0.006	29 ± 4	57.4 ± 2.3	36 ± 11	62 ± 7
He II	130.4 ± 1.7	113.1 ± 1.1	0.0479 ± 0.0018	30.2 ± 2.0	60.3 ± 0.8	38 ± 10	65 ± 6
O (абсорбции)							
H I	143 ± 6	41 ± 4	0.006 ± 0.006	29.4 ± 2.0	66.2 ± 2.9	37 ± 10	71 ± 7

4. ПОИСК ИЗМЕНЕНИЯ ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРИОДА

В качестве материала для анализа стабильности орбитального периода WR141 наиболее удачным вариантом представляются спектральные линии иона N V. Данный ион обладает наибольшим потенциалом ионизации среди всех наблюдаемых ионов в спектре WR141, что позволяет предположить наибольшую близость измеренных лучевых скоростей к орбитальному движению звезды WR. Кроме того, измерения лучевых скоростей в линиях N V (4603 или 4945 Å) представлены во всех архивных работах.

На рис. 3 показаны диаграммы $(O - C)$, построенные по кривым лучевых скоростей в линиях N V в спектре WR141. Диаграмма на левой панели построена по архивным элементам из работы [8]. Сильный наклон графика свидетельствует о том, что в значении периода присутствует систематическая ошибка. Для ее учета необходимо подобрать период таким образом, чтобы построенная по наблюдаемым точкам линейная регрессия имела близкий к нулю старший коэффициент. Это значение может быть оценено как $P = 21.68845^d \pm 0.00011^d$. На правой панели рис. 3 диаграмма $(O - C)$ перестроена по уточненным элементам. На этой диаграмме видна характерная для медленного увеличения орбитального периода структура: точки на графике, соответствующие фазовым невязкам между полученными в разные эпохи кривыми лучевых скоростей, накладываются на параболу с положительным старшим коэффициентом. Этот коэффициент связан с темпом изменения орбитального периода как $\dot{P} = 2A$. Полученное значение A для параболы, проведенной по данным точкам методом МНК, составляет $A = (2.5 \pm 1.4) \times 10^{-8}$ с/с \approx

**Рис. 3.** Графики для системы WR 141, построенные по кривым лучевых скоростей в линиях N V 4603 и 4945 Å. Сверху — построение с элементами из работы [8], снизу — с уточненными элементами.

$\approx 0.8 \pm 0.5$ с/год, что приводит к темпу изменения периода $\dot{P} = 1.6 \pm 0.9$ с/год.

В табл. 4 приведены использованные кривые лучевых скоростей, результаты вычисления $(O - C)$ с использованием кривой лучевых скоростей в соответствующей линии из наших измерений и оценка погрешности данного измерения.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованная в настоящей работе система WR141 обладает существенно большим орбитальным периодом ($\sim 22^d$), чем системы, исследованные нами в предыдущих работах ($< 10^d$). Анализ вариации орбитального периода таких систем оказывается неточным: регистрируемые \dot{P} в таких системах предполагают очень высокий темп потери массы из системы при условии корреляции между темпом потери массы звездой WR и ее массой. Система WR141 содержит довольно массивную звезду, способную создавать столь сильный ветер, но даже в этом случае полученные значения \dot{P} и \dot{M}_{WR} оказываются очень неточными. Применяя формулу

Джинсовской моды для темпа потери массы, на основе полученного выше значения \dot{P} , можно получить

$$\dot{M}_{WR} = -\frac{1}{2} \frac{\dot{P}}{P} (M_{WR} + M_O) = -(3.1 \pm 1.9) \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{год}.$$

В табл. 5 приведены исследованные в рамках спектроскопического метода «О–С» системы типа WR+OB. В таблице перечислены массы WR, оценки темпов изменения периода и потери массы в виде ветра WR. За исключением случая CQ Cep, в этих системах наблюдается вековое увеличение периода, а вычисленные по нему \dot{M}_{WR} коррелируют с массой M_{WR} . На рис. 4 измерения M_{WR} и \dot{M}_{WR} для этих систем нанесены на один график. Для сравнения на этот график также нанесены измерения \dot{M}_{WR} для различных звезд, по большей части WN (азотной последовательности WR) в зависимости от массы звезды, полученные разными методами [16, 17, 18]. Оценки, полученные разными методами, показывают хорошее согласие. Коэффициенты прямой $\lg \dot{M}_{WR} = A \lg M_{WR} + B$, проведенной по четырем точкам из наших работ, составляют $A = 1.61 \pm 0.29$, $B = -1.8 \pm 0.4$.

Таблица 4. Значения для случая WR 141, полученные на основе наложения кривых лучевых скоростей в линиях иона N V

Ссылка	Линия, Å	$\langle \text{HDJ} \rangle$	E_{old}	$(O - C)_{old}$	E_{new}	$(O - C)_{new}$
Хилтнер [5]	4603	2431283.95	−809	0.066 ± 0.008	−1331	0.001 ± 0.008
Ганеш и Баппу [6]	4603	2434183.83	−675	0.042 ± 0.015	−1098	$−0.015 \pm 0.015$
Марченко и др. [8]	4603	2448827.90	0	0.015 ± 0.006	−522	$−0.009 \pm 0.006$
Дсильва и др. [10]	4945	2458247.98	435	$−0.002 \pm 0.007$	−89	$−0.005 \pm 0.007$
Наст. работа	4603, 4945	2460137.64	522	0.000 ± 0.007	−1.4	0.000 ± 0.007

Примечание. Индекс *old* для E и $(O - C)$ соответствует применению элементов из работы [8], индекс *new* — применению уточненных элементов.

Таблица 5. Список тесных двойных систем типа WR+OB, эволюция орбитального периода которых измерена спектроскопическим методом «О–С»

WR	Название	Спектральный класс	P , сут	HJD ₀ , 2400000+	M_{WR} , M_{\odot}	\dot{P} , с/год	$\dot{M}_{WR} \times 10^5$, $M_{\odot}/\text{год}$
WR 155	CQ Cep	WN6o + O9.5V	1.64124	59561.809	~ 11	$−0.0151 \pm 0.0013$	~ 1
WR 151	CX Cep	WN4 + O5V	2.12692	59185.684	13.9 ± 0.7	0.062 ± 0.005	$0.91^{+0.10}_{-0.31}$
WR 139	V444 Cyg	WN5 + O6II— V	4.21247	60138.97	10.7 ± 1.1	0.119 ± 0.003	0.60 ± 0.04
WR 127	Hen 3-1772	WN3 + O9.5V	9.55465	60187.81	21.0 ± 2.5	0.83 ± 0.14	2.6 ± 0.5
WR 141	V2183 Cyg	WN5-w + O5V—III	21.68845	60168.88	39 ± 10	1.6 ± 0.9	3.1 ± 1.9

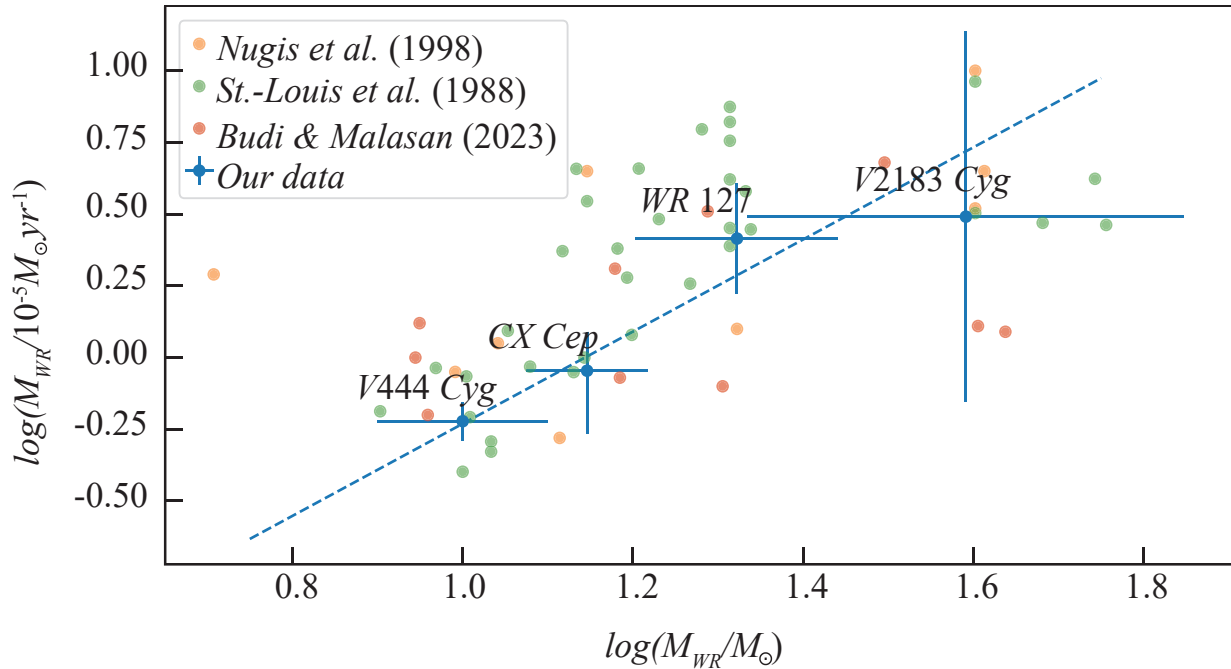


Рис. 4. Зависимость между темпом потери массы и массой для звезд WR. Синие точки — данные наших работ (см. сводку в табл. 5), оранжевые точки — поляриметрические данные из работы [16], зеленые — оценки по измерениям ИК-радиопотоков [17], красные — оценки на основе моделирования спектральных профилей [18].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе демонстрируется возможность оценки векового изменения орбитального периода \dot{P} короткопериодических тесных двойных систем типа WR+ОВ с помощью спектральных данных. Несмотря на относительно длинный орбитальный период в системе WR141, нам удалось дать оценку \dot{P} . Это связано с тем, что величина \dot{P} при высоком темпе потери массы в виде звездного ветра в случае массивной звезды WR оказывается велика, и за 80-летний период, несмотря на относительно малое число протекающих орбитальных периодов, изменение орбитального периода выявляется. Стоит подчеркнуть, что поскольку метод основан на спектральных данных, его можно применять к большому количеству незатменных систем. Это предполагается проделать в следующих работах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 23-12-00092).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность анонимному рецензенту, учет замечаний которого позволил существенно улучшить изложение результатов работы.

Автор признателен А.М. Черепашуку, А.В. Додину и К.А. Постнову за ценные обсуждения.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kh.F. Khaliullin*, Soviet Astron. 18, 229 (1974).
2. *I.A. Shaposhnikov, A.M. Cherepashchuk, A.V. Dodin, and K.A. Postnov*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 523(1), 1524 (2023).
3. *I.A. Shaposhnikov, A.M. Cherepashchuk, A.V. Dodin, and K.A. Postnov*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 526(3), 4529 (2023).
4. *I.A. Shaposhnikov, A.M. Cherepashchuk, A.V. Dodin, and K.A. Postnov*, Astron. and Astrophys. 683, id. L17 (2024).
5. *W.A. Hiltner*, 101, 356 (1945).
6. *K.S. Ganesh and M.K.V. Bappu*, Kodaikanal Observ. Bull. Ser. A 185, A104 (1967).

7. *A. Grandchamps and A.F.J. Moffat*, Wolf-Rayet Stars and Interrelations with Other Massive Stars in Galaxies. 143rd Symp. of the IAU held in Sanur, Bali, Indonesia, June 18–22, 1990; edited by K. A. van der Hucht and B. Hidayat (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991), Proc. IAU Symp. 143, 258 (1991).
8. *S.V. Marchenko, A.F.J. Moffat, and Ph.R.J. Eenens*, Publ. Astron. Soc. Pacific 110, 1416 (1998).
9. *M.M. Ivanov, T.S. Valchev, L.N. Georgiev, R. Barba, and I. K. Iliev*, Revista Mexicana Astron. Astrof. 35, 25 (1999).
10. *K. Dsilva, T. Shenar, H. Sana, and P. Marchant*, Astron. and Astrophys. 664, id. A93 (2022).
11. *A.F.J. Moffat and M.M. Shara*, Astron. J. 92, 952 (1986).
12. *R. Lamontagne, A.F.J. Moffat, L. Drissen, C. Robert, and J.M. Matthews*, 112(5), 2227 (1996).
13. *S.V. Marchenko, A.F.J. Moffat, K.A. van der Hucht, W. Seggewiss, et al.*, Astron. and Astrophys. 331, 1022 (1998).
14. *S.A. Potanin, A.A. Belinski, A.V. Dodin, S.G. Zheltoukhov, et al.* Astron. Letters 46(12), 836 (2020).
15. *A.M. Cherepashchuk*, Astrophys. Space Sci. 221(1–2), 227 (1994).
16. [16] *N. St-Louis, A. F. Moffat, L. Drissen, P. Bastien, and C. Robert*, 330, 286 (1988).
17. [17] *T. Nugis, P. A. Crowther, and A. J. Willis*, Astron. and Astrophys. 333, 956 (1998).
18. *B.D.S. Budi and H.L. Malasan*, Preprint SSRN № 4620956 (2023).

SPECTROSCOPIC SEARCHES FOR EVOLUTIONARY ORBITAL PERIOD CHANGES IN WR+OB BINARIES: THE CASE OF WR 141

I. A. Shaposhnikov^{1,2}

¹*Lomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia*

²*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, Russia*

E-mail: iv.shaposhnikov@gmail.com

The results of new low-resolution spectroscopic observations of the short-period system WR 141 (WN5o+O5V–III, $P \approx 21.7^d$) are presented, as well as the results of their comparison with the material of previous studies in order to search for an evolutionary change in the orbital period. A secular increase in the orbital period of WR 141 with a rate of $\dot{P} = 1.6 \pm 0.9$ sec/year, corresponding to a mass loss rate of $\dot{M}_{\text{WR}} = (3.1 \pm 1.9) \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$ with the masses of the stars in the system of $M_{\text{WR}} = 39 \pm 10 M_{\odot}$ and $M_{\text{O}} = 37 \pm 10 M_{\odot}$, is reported. A correlation between the mass loss rate of WR stars and their mass is discussed.

Keywords: Wolf-Rayet stars, mass loss, stellar wind, spectroscopic binaries