

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В НОВОЙ
КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ FBS 1031+59
(PG 1030+59=DW UMa)
С ОРБИТАЛЬНЫМ ПЕРИОДОМ**

И. М. Копылов, Н. Н. Сомов, Т. А. Сомова*

Представлены результаты спектральных наблюдений FBS 1031+59 (PG 1030+59). По 23 сканам, полученным последовательно в ночь с 18 на 19 апреля 1986 г. со средним временным разрешением 13 мин и спектральным разрешением 4 Å в диапазоне длин волн 3500—5200 Å с телевизионным сканером БТА, проведен анализ переменности лучевых скоростей, эквивалентных ширин и полуширин эмиссионных линий водорода, HeII и HeI с орбитальным (затменным) периодом.

Кривые лучевых скоростей по пикам и центрам тяжестей эмиссионных линий аппроксимировались синусоидами методом наименьших квадратов. Параметры кривых лучевых скоростей (полуамплитуда и фазовый сдвиг) показали значимые различия в зависимости от балмеровского номера линии водорода и потенциала ионизации у линий HeI и HeII. Полуамплитуда кривой лучевых скоростей белого карлика, оцененная по линии H_ε, составляет (110 ± 11) км/с. Эквивалентные ширины всех наблюдаемых линий возросли в главном минимуме орбитального периода до 2 раз. Ряд линий (H_γ, H_β, HeII 4686, HeI 4471) показал увеличение эквивалентных ширин вблизи вторичного минимума до 1.3—1.8 раза, а линии CIII 4649, HeI 4922 и CII 4267 — до 2 раз. Полуширины линий водорода и HeI 4471 возросли вблизи фазы 0.5 (вторичный минимум). Обсуждаются возможные причины выявленных спектральных изменений. На основе измерений лучевых скоростей предложена фазовая схема распределения эмиссионных областей в системе, которая показывает присутствие значительной температурно-геометрической асимметрии аккреционной структуры в окрестности белого карлика. В целом ряд выявленных наблюдательных фактов характерен для магнитных тесных двойных систем (полюров, промежуточных полюров).

The results of spectral observations of FBS 1031+59 (PG 1031+59) are presented. Variability of radial velocity, equivalent widths and halfwidths of emission lines of hydrogen, HeII and HeI with an orbital (eclipse) period are analysed from 23 scans, obtained successively on 18/19 april, 1986 with a mean time resolution of 13 min and a spectral resolution of 4 Å within 3500—5200 Å, using the TV scanner of the 6-m telescope. According to peaks and centres of gravity of emission lines the radial velocity curves are fitted by sinusoids and differ in amplitudes, γ-velocities and extremum phases. Besides, the parameters of radial velocity curves (halfamplitude and phase shift) showed great differences depending upon the balmer number of hydrogen line, and ionization potential, of HeI and HeII lines. The halfamplitude of radial velocity curve of the white dwarf, estimated from H_ε line is 110 ± 11 km/s.

The equivalent widths of all the observed lines have increased in the main minimum of the orbital period up to a factor of 2. Some lines (H_γ, H_β, HeII 4686, HeI 4471) showed an increase of equivalent widths near the secondary minimum up to a factor of 1.3—1.8, and CIII 4649, HeI 4922 and CII 4267 lines up to a factor of 2. The halfwidths of hydrogen and HeI 4471 lines have increased near the phase 0.5 (the secondary minimum). The reasons of detected spectral variations are discussed. On the basis of radial velocity measurements a phase scheme of distribution of emission regions in the system is suggested which shows the presence of considerable temperature-geometrical asymmetry of accretion structure in vicinity of the white dwarf. In general, a number of the detected observational evidences are characteristic for magnetic close binary systems (polars, intermediate polars).

1. Введение

Катаклизмические переменные звезды — маломассивные тесные двойные системы, состоящие из белого карлика (первичный компаньон) и звезды — карлика позднего типа меньшей массы (вторичный компаньон), заполняющей свою

* ГАО АН СССР, Пулковое, Ленинград.

полость Роша. При отсутствии сильного магнитного поля в результате перетекания вещества на белый карлик вокруг него формируется аккреционный диск. В месте столкновения струи газа с диском образуется горячее пятно. При наличии сильного магнитного поля $[(2-4) \cdot 10^8 \text{ Гс}]$ у белого карлика вещество движется вдоль магнитных силовых линий и выпадает вблизи его магнитных полюсов; при этом образуются аккреционные колонны, которые являются основным источником излучения — от жесткого рентгеновского излучения до ближней ИК-области (поляры). Характерной особенностью полярных областей является то, что оптическое излучение этих объектов поляризовано (до 30—40 %).

В катаклизмических звездах обнаружены вспышки оптического излучения различной продолжительности и интенсивности. Характерные времена переменности блеска заключены в очень широких пределах: от нескольких десятков секунд, например у новоподобных звезд, до десятков и более лет у новых звезд. Вспышки могут быть обусловлены нестационарным истечением вещества из вторичного компонента, неустойчивостью струи и аккреционного диска или неустойчивым ядерным горением в слое вырожденного вещества на поверхности белого карлика, на который происходит аккреция. У новоподобных и полярных звезд блеск систем нерегулярно меняется на протяжении месяцев и лет. Иногда блеск резко понижается, и система переходит в так называемое низкое состояние. У полярных звезд высокого и низкого состояний блеска выражены более четко по сравнению с новоподобными. В настоящее время известно более 100 взрывных систем, причем полярных среди них 14 штук и промежуточных полярных 13 штук [1]. Обзоры по катаклизмическим переменным можно найти в работах [2—5] и по полярам в работах [6—8].

Для поиска новых катаклизмических переменных нами были использованы побочные результаты первого Бюраканского обзора (FBS). По результатам предварительных (в основном в 1984 г.) спектральных исследований на 6-м телескопе с телевизионным сканером выделенной группы звезд из этого обзора было обнаружено 6 новых катаклизмических переменных [9], одна из которых, FBS 1031+59, по спектральным особенностям и характеру переменности была классифицирована нами как магнитная тесная двойная система (поляр). У этой системы были обнаружены затмения, оценен орбитальный (затменный) период ($P_{\text{orb}} = 199.4 \text{ мин} = 0.1385 \text{ дня}$) [10].

Независимо от нас группой Шафтера была обнаружена и исследована новая катаклизмическая переменная PG 1030+59 [11, 12], которая оказалась тождественна FBS 1031+59. В результате фотометрических и спектральных наблюдений, проведенных этой группой, объект был классифицирован ими как новоподобная. Обнаружено, что в фильтре V система имеет яркость 14.5 зв. величины и ее блеск слабеет в главном минимуме на 1.5 зв. величины, определен орбитальный период (0.13660653 дня), получены оценки параметров системы ($M_1 = 0.9 M_{\odot}$, $M_2 = 0.29 M_{\odot}$, $I = 80^\circ$). Мы исследовали FBS 1031+59 в рамках нашей общей программы поиска новых катаклизмических переменных и спектроскопии с высоким временным разрешением избранных звезд. Здесь представляем только часть результатов, касающихся спектральных изменений у этой системы с орбитальным периодом.

2. Наблюдения, обработка

Наблюдения проводились в 1984—1986 гг. с помощью телевизионного сканера БТА [13], установленного во вторичном фокусе 6-м телескопа на спектрографе СП-124. Использовалась дифракционная решетка, имеющая 600 штр/мм и дающая дисперсию $1.7 \text{ \AA}/\text{канал}$ и спектральное разрешение 4 \AA . Часть информации мы получили с высоким временным разрешением, в режиме так называемой кадровый записи на магнитную ленту [13] — это наблюдения в феврале 1984 г., январе и декабре 1985 г. Некоторые результаты обработки и анализа спектрального материала для FBS 1031+59 с высоким временным разрешением уже представлены нами [14, 15]. Предполагается написание отдельной работы.

Для изучения спектральных изменений с орбитальным периодом в ночь 18/19 апреля 1986 г. были последовательно получены 23 скана в интервале

длин волн 3500—5200 Å со средней экспозицией 13 мин. Обработка материала была проведена по стандартной методике [16] с помощью языка СИПРАН [17]. Результаты определения среднеквадратичных ошибок одного измерения лучевой скорости, полуширины и эквивалентной ширины эмиссионных линий, измеренных по наборам сканов, представлены ранее в ряде работ [18—20].

3. Общее описание спектра FBS 1031+59

На рис. 1 показан интегральный спектр FBS 1031+59, полученный путем сложения 23 спектров в линейной шкале длин волн. Эмиссионные линии водорода очень сильны, с широкими основаниями (до 2500—3000 км/с), узкими сильными пиками, и наблюдаются до H_{15} . Присутствуют также эмиссионные линии с высокими потенциалами ионизации — HeII 4686, CIII 4649 и CII 4267.

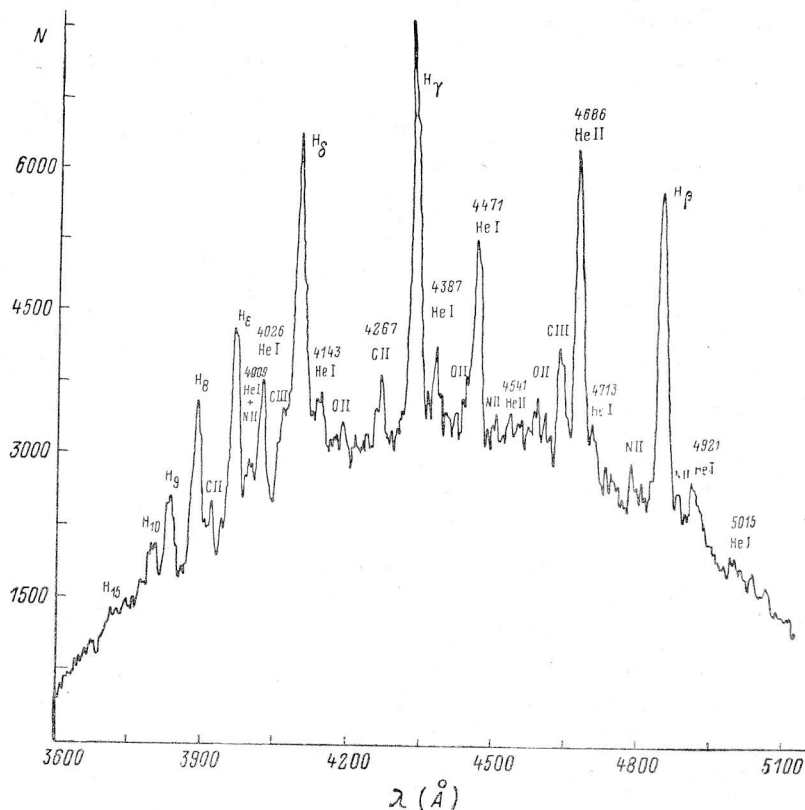


Рис. 1. Суммарный спектр FBS 1031+59, полученный с телевизионным сканером на БТА 18 апреля 1986 г.

Линия HeII 4686 сравнима по интенсивности с H_{β} , что обычно имеет место у магнитных тесных двойных систем (полярнов). Кроме сильной линии HeII 4686 в спектрах иногда наблюдаются слабые эмиссионные линии HeII 4541 и 4200 Å. В спектре присутствуют многочисленные линии легких ионов OII, CII, NII. Нейтральный гелий представлен линиями сильной и умеренной интенсивности с длинами волн 5015, 4922, 4713, 4471, 4387, 4143 и 4026 Å и др.

На рис. 2 показана развертка суммарного спектра (рис. 1) во времени. Приведены отдельные сканы, редуцированные и нормированные на непрерывный спектр. Справа от каждого скана указана фаза орбитального (затменного) периода. За нуль фазы принят момент минимума первого из затмений, зафиксированного в ночь 18/19 апреля 1986 г., Min I, JD 2446599.37.375 [10]. По оси абсцисс отложена длина волны в ангстремах. Из рисунка видны изменения лучевых скоростей, профилей и интенсивностей спектральных линий со временем (орбитальным периодом). Видна асимметрия профилей ряда линий, величина ее меняется с орбитальным периодом.

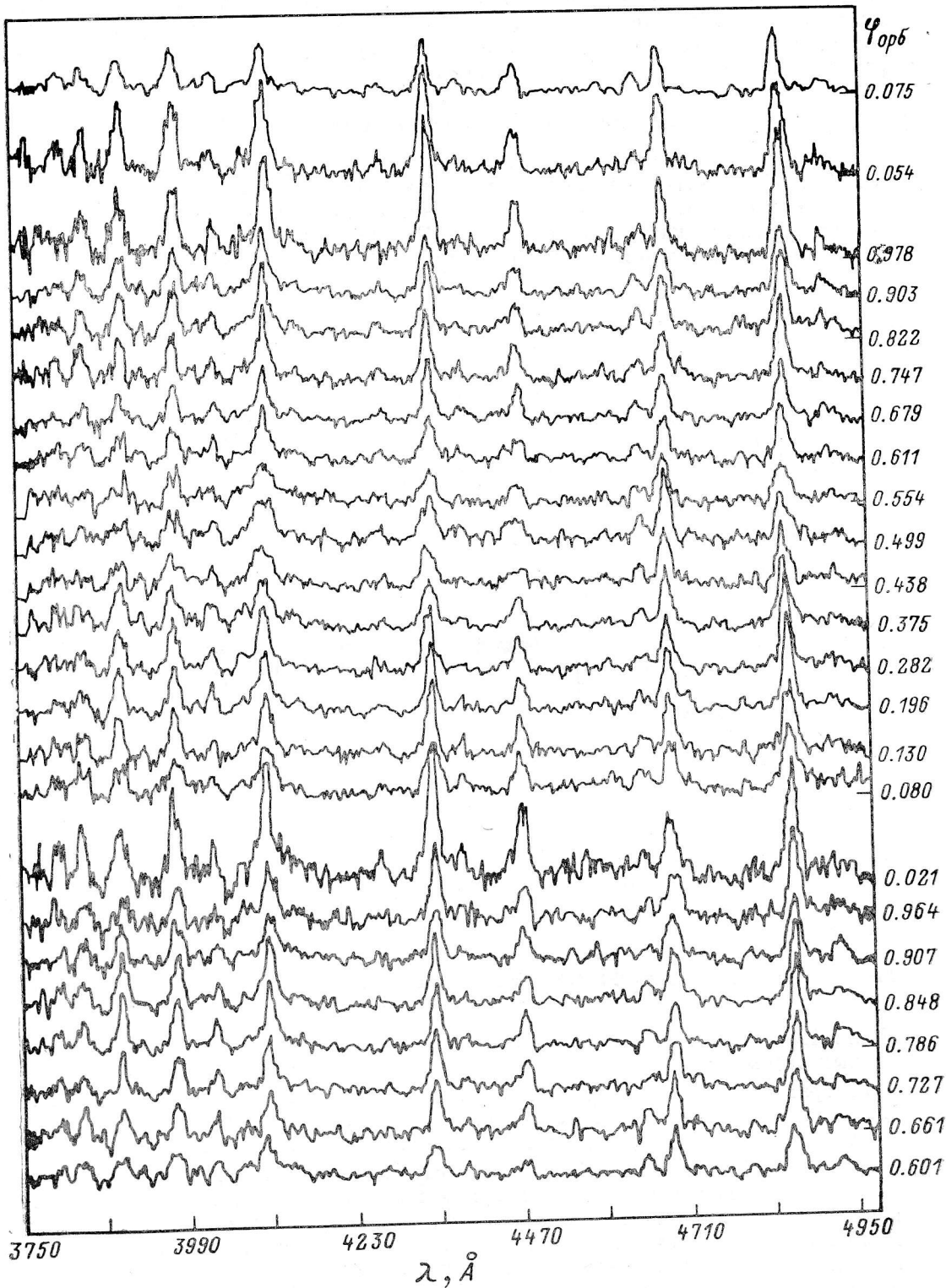


Рис. 2. Спектры GBS 1031+59 с временным разрешением 13 мин.

Справа от каждого спектра указаны фазы орбитального (затменного) периода. Самый верхний спектр получен 19 апреля 1986 г.

4. Лучевые скорости

Известно, что эмиссионные линии, наблюдаемые в спектрах катаклизмических переменных, обычно имеют сложную, комплексную структуру, компоненты которой могут возникать в горячем пятне, газовом потоке, вторичном компаньоне и в различных областях диска. Все эти компоненты могут влиять на кривые лучевых скоростей белого карлика, но степень возмущения остается неизвестной [12]. Линии полярнов также имеют сложную структуру, но в первом приближении их можно разделить на широкую (В-компонента) и узкую (S-компонента) составляющие. Мы измеряли лучевые скорости следующих эмиссионных линий: H_{β} — H_{δ} , HeII 4686, HeI 4471, 4026, 4387 Å, CII 4267 Å, причем скорости определялись по центру тяжести и по пику линии. Полученные данные аппроксимировались методом наименьших квадратов кривой вида

$$v = G + K_1 \sin(2\pi\Phi) + K_2 \cos(2\pi\Phi), \quad (1)$$

где v — лучевая скорость; G — гамма-скорость; Φ — фаза орбитального периода; K_1 и K_2 — константы, характеризующие полуамплитуды синусоидальной и косинусоидальной компонент кривой лучевых скоростей. По вычисленным значениям коэффициентов определялись K — полуамплитуда и $D\Phi$ — фазовый сдвиг в формуле (2), эквивалентной (1):

$$v = G - K \sin(2\pi\Phi - D\Phi). \quad (2)$$

Вычислялись ошибки для всех констант. Результаты измерений и вычислений суммированы в табл. 1 для линий водорода и в табл. 2 для линий гелия. Скорости K , K_1 , K_2 представлены в километрах в секунду, фазовый сдвиг — в градусах, параметр S равен среднеквадратичному отклонению в километрах в секунду всех измерений от расчетной кривой. В скобках указаны величины соответствующих ошибок. Ключи в названии линии обозначают способ измерения лучевой скорости, а именно, /с — по центру тяжести линии, /р — по пику линии, /s — по крыльям линий из работы [12].

Из анализа табл. 1 и 2 видно, что параметры кривых лучевых скоростей (полуамплитуда и фазовый сдвиг) показали значимые различия в зависимости от бальмеровского номера линии водорода и потенциала ионизации у линий HeI и HeII. Наибольший фазовый сдвиг наблюдается у центра тяжести линии HeII 4686 Å (87°). Фазовые сдвиги по линиям водорода H_{β} — H_{δ} изменяются в пределах 40°—60°, для линии H_{δ} фазовый сдвиг равен 28°, а линии H_{δ} и H_{γ} имеют отрицательные фазовые сдвиги. Отрицательные фазовые сдвиги также показали линии HeI 4387, 4026 Å и CII 4267 Å. Отметим, что пики водородных линий высоких серий, начиная с H_{δ} и линии CII (пик и центр тяжести), дают при измерениях резкие скачки лучевых скоростей (до 500—1000 км/с), поэтому параметры S для них велики.

ТАБЛИЦА 1

Линия	G — скорость	K_1	K_2	K	$D\Phi$	χ
H_{β}/c	—30 (20)	—139 (18)	130 (17)	190 (27)	43 (7)	103
H_{β}/s	19 (18)			194 (25)	54 (7)	
H_{β}/p	—125 (20)	—141 (17)	220 (18)	275 (25)	53 (5)	94
H_{γ}/c	64 (16)	—141 (20)	95 (11)	170 (20)	34 (7)	73
H_{γ}/p	86 (25)	—80 (26)	79 (26)	113 (31)	45 (16)	115
H_{δ}/c	7 (26)	—87 (20)	162 (25)	184 (32)	62 (10)	121
H_{δ}/p	6 (38)	—76 (46)	6 (9)	77 (47)	4 (30)	178
H_{ϵ}/c	—8 (11)	—110 (11)	59 (8)	125 (14)	28 (6)	52
H_{ϵ}/p	—49 (45)	—203 (56)	75 (20)	216 (57)	20 (15)	214
H_8/c	207 (33)	—111 (40)	—8 (4)	111 (41)	—4 (20)	154
H_8/p	316 (59)	—102 (36)	—221 (61)	243 (71)	—65 (17)	269
H_9/c	145 (28)	40 (34)	—30 (10)	50 (35)	—143 (40)	130
H_9/p	191 (61)	15 (33)	—95 (67)	96 (74)	—99 (44)	288

ТАБЛИЦА 2

1	2	3	4	5	6	7
HeII 4686/c	27 (20)	-6 (15)	104 (19)	104 (24)	87 (13)	93
HeII 4686/s	49 (11)			109 (15)	75 (8)	
HeII 4686/p	-45 (24)	-146 (27)	47 (11)	154 (30)	18 (11)	110
HeI 4471/c	-73 (24)	-73 (21)	125 (24)	145 (30)	60 (12)	114
HeI 4471/p	12 (41)	-145 (46)	1 (2)	145 (50)	0 (20)	190
HeI 4387/c	-133 (29)	-50 (20)	-90 (29)	103 (35)	-61 (20)	122
HeI 4387/p	-83 (26)	-58 (83)	32 (32)	66 (33)	29 (20)	106
HeI 4026/c	3 (31)	-215 (83)	31 (8)	217 (39)	8 (10)	145
HeI 4026/p	23 (19)	-139 (23)	-49 (3)	148 (24)	-19 (9)	90
СII 4267/c	85 (55)	-81 (63)	-49 (21)	95 (66)	-31 (40)	235
СII 4267/p	194 (75)	-158 (66)	-33 (56)	161 (91)	-12 (32)	300

Эмиссионные линии в спектре FBS 1031+59 имеют сложную структуру. Различие между кривыми лучевых скоростей, измеренных по пику и центру тяжести линий, свидетельствует об асимметрии профилей линий, и в первом

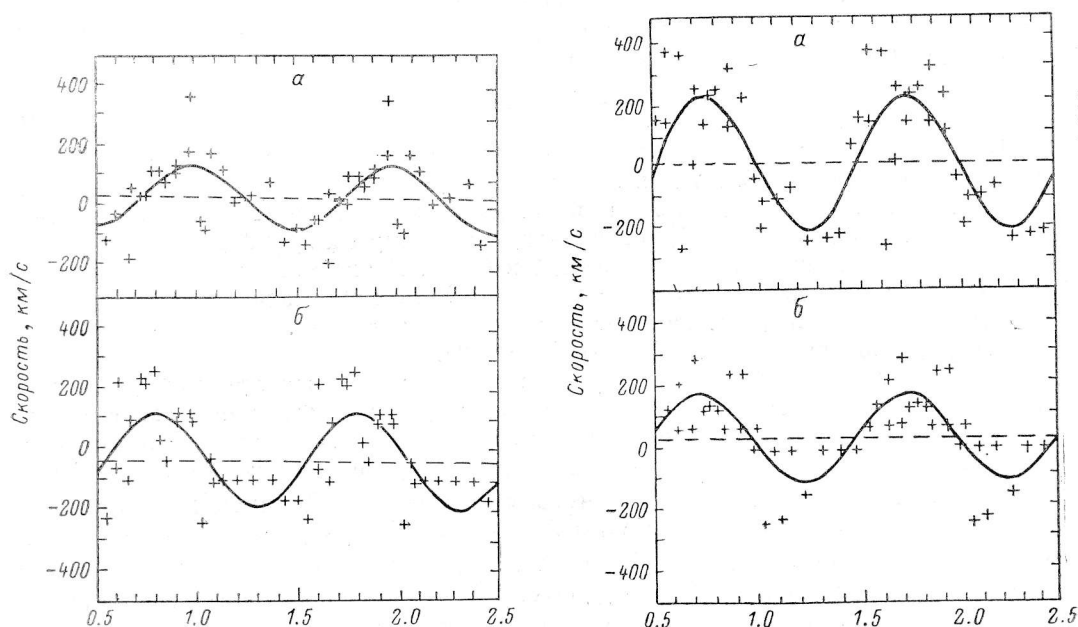


Рис. 3. Зависимость лучевых скоростей HeII 4686 от фазы орбитального (затменного) периода.

a — по центру тяжести; *b* — по пику линии.

Рис. 4. Кривые лучевых скоростей для HeI 4026.

a — по центру тяжести; *b* — по пику линии.

приближении их можно разделить на узкую и более широкую составляющие. Такое разделение спектральных линий на две компоненты, как мы уже упоминали, характерно для полюсов.

На рис. 3—6 показаны кривые лучевых скоростей для наиболее сильных эмиссионных деталей: зависимости лучевых скоростей, измеренных по центру тяжести линии (*a*) и по пику линии (*b*), от фазы орбитального (затменного) периода. Штриховой линией на графиках отмечены значения гамма-скоростей. Поведение лучевых скоростей по центрам тяжести линий HeII 4686 Å и H_β в целом соответствует данным Шафтера и др. [12], другие линии ими не наблюдались. На рис. 3 представлено поведение лучевых скоростей HeII 4686 Å. Повышенный разброс точек (рис. 3, *a*) вблизи фазы $\Phi=1.0$ связан, по-видимому,

с искажениями скоростей во время затмения белого карлика. Рисунок показывает, что кривые лучевых скоростей, определенные по центру тяжести и пику линии HeII 4686 Å, сдвинуты на 69° (~0.2P), полуамплитуды различаются в 1.5 раза, гамма-скорости также различаются. Этот факт, по-видимому, говорит о двух областях образования линии HeII 4686 Å. На рис. 4 изображены кривые лучевых скоростей для линии HeI 4026 Å. Из рисунка виден фазовый сдвиг между верхней и нижней кривыми (27°), полуамплитуды и гамма-скорости также различаются. Для других линий HeI фазовые сдвиги между кривыми лучевых скоростей по узкой (пик) и широкой (центр тяжести) компонентам гораздо существеннее (табл. 2): для линии HeI 4471 Å он составляет 60°, а для линии HeI 4387 Å достигает 90° (0.25P). Рис. 5 показывает изменения лучевых скоростей для линии H_β. Рисунок иллюстрирует тот факт, что фазовый сдвиг между верхней и нижней кривыми меньше, чем у линий гелия, и составляет 10°, наблюдается также различие полуамплитуд и гамма-скоростей. На рис. 6 представлены лучевые скорости линий водорода H_γ, H_δ, H_ε, определенные по их центрам тяжести. Из рисунка видно, что минимальные отклонения значений лучевых скоростей от синусоиды имеют место у линии H_ε (табл. 1).

На рис. 3—6 и в табл. 1 и 2 видны большие значения средне-

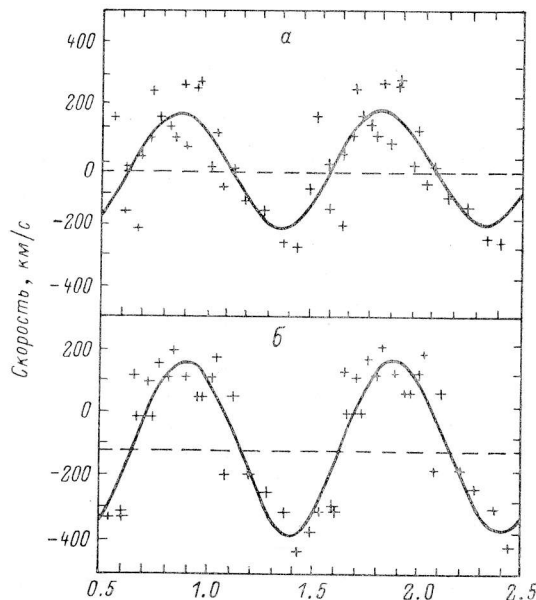


Рис. 5. Изменение лучевых скоростей H_β с фазой орбитального периода. а — по центру тяжести; б — по пику линии.

квадратичных отклонений от синусоиды (параметр *S*) — от 52 до 200 км/с. Ожидаемые точности лучевых скоростей, измеренных по центрам тяжести стационарных эмиссионных линий SS 433, составляют 30 км/с [20]. Для выяснения причин увеличенных отклонений мы провели анализ ошибок, который выявил определенную закономерность: зависимость среднеквадратичного отклонения от фазового сдвига для линий водорода H_β—

H_ε, которая показана на рис. 7. Линия H_ε имеет минимальную ошибку (52 км/с) при минимальном фазовом сдвиге среди указанной группы линий (28°), при этом она самая слабая в группе. Такую зависимость ошибок мы не можем объяснить методикой измерений и полагаем, что повышенные значения параметра *S* связаны с нестационарностью объекта и различием ее проявления в данной группе линий.

На рис. 8 показана зависимость изменения полуамплитуд кривых лучевых скоростей водорода, измеренных по центрам тяжести и крыльям (H_α [12]) линий, от номера в бальмеровской серии. Различие параметров кривых лучевых скоростей у водорода, линии

ТАБЛИЦА 3

Линия	Эквивалентная ширина	
	Данная работа	Из [12]
H _β	34 (60)	26 (46)
H _γ	26 (66), (34)	18 (36)
H _δ	32 (60), (50)	26 (54)
H _ε	18 (34), (21)	—
H _ζ	14 (26), (17)	—
H _η	10 (17), (8)	—
H _θ	6 (13)	—
HeII 4686	24 (34), (32)	22 (28)
SiII 4649	8 (14), (14)	7 (9)
HeI 4771	13 (30), (23)	6 (10)
HeI 4026	6 (10), (13)	5 (9)
HeI 4922	5 (10), (10)	5 (8)
HeI 5015	3 (—)	— (7)
HeI 4387	4 (12), (7)	—
SiI 4267	4 (8), (10)	—

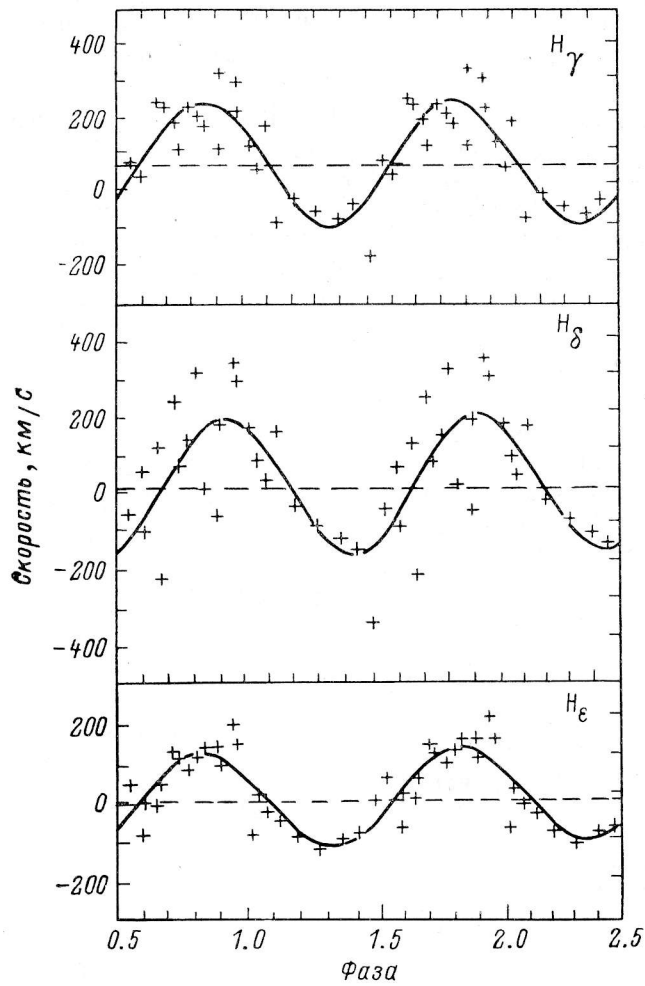


Рис. 6. Кривые лучевых скоростей соответственно для линий H_γ , H_δ и H_ϵ по центру тяжести.

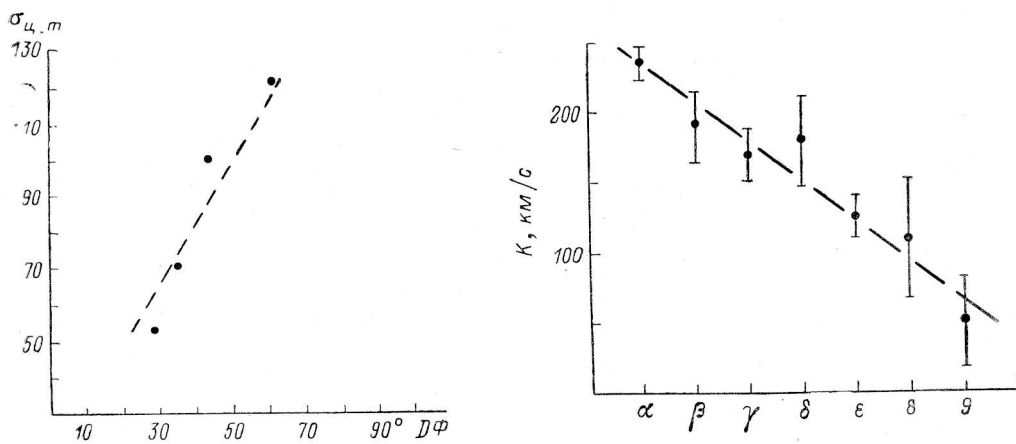


Рис. 7. Зависимость среднеквадратичных отклонений от синусоиды значений лучевых скоростей по центру тяжести линии H_β — H_ϵ от фазового сдвига.

Рис. 8. Зависимость изменения полуамплитуд кривых лучевых скоростей линий водорода, измеренных по центрам тяжести и крыльям линий (H_α — Шафтер и др. [12]), от номера бальмеровской серии.

HeII и линий HeI усложняет задачу определения полуамплитуды лучевой скорости белого карлика (K_{wd}). Предполагая, что белый карлик должен иметь нулевой фазовый сдвиг, можно оценить K_{wd} по линии H_ϵ , центр тяжести которой показывает наименее возмущенную синусоиду (фазовый сдвиг 28° , $S = 52$ км/с), используя параметр K_1 (синусоидальная компонента). В этом случае оценка K для белого карлика равна (110 ± 11) км/с.

5. Эквивалентные ширины и полуширины линий

Методика измерений эквивалентных ширин (W_λ) и полуширин ($\Delta\lambda$ 1/2) эмиссионных линий, а также анализ ошибок были описаны нами ранее [16]. Отметим ряд эффектов, которые были обнаружены при исследовании профилей, эквивалентных ширин и полуширин линий у FBS 1031+59. Наиболее сильной особенностью в поведении эквивалентных ширин линий с орбитальным периодом является их возрастание в главном минимуме (рис. 9, а), по-видимому связанное с асинхронностью затмения областей формирования эмиссионного и непрерывного спектров в окрестности белого карлика. В табл. 3 приведены средние значения эквивалентных ширин вне затмения и в скобках указаны значения, соответствующие затмениям, в первой скобке — в главном затмении (Min I) (усреднение по двум значениям), во второй — вблизи вторичного затмения (Min II). Для сравнения в таблице представлены и данные из работы [12].

Другая особенность наблюдается вблизи фазы 0.5, т. е. во вторичном минимуме, и проявляется в виде возрастания эквивалентной ширины при входе и уменьшения ее при выходе из вторичного затмения. В отличие от главного минимума эта особенность наблюдалась в поведении не всех линий, а именно, у линии H_β отсутствует, у линий H_γ , H_δ , HeI 4471 Å наблюдается. Причем ряд линий (H_γ , H_δ , HeII 4686, CIII 4649, HeI 4471) показал увеличение эквивалентных ширин вблизи вторичного минимума до 1.3—1.8 раз, а линии CIII 4649, HeI 4922 и CII 4267 — до 2 раз. Отметим, что для линии HeI 4387 кроме возрастания W_λ в Min I некоторый подъем эквивалентной ширины (до 9 Å) наблюдается вблизи фаз 0.6—0.7. Для линии HeI 4026 возрастание W_λ кроме Min I приходится на фазы орбитального периода 0.6—0.8 до 9 Å. Наиболее вероятно, что в течение 0.6—0.8 периода наблюдается газ, излучающий эти эмиссионные линии HeI. На рис. 9, а показано поведение эквивалентных ширин ряда линий водорода и гелия с орбитальным периодом, а на рис. 9, б представлено поведение R_c (отношение интенсивности линии к интенсивности континуума под ней) для этих же линий с орбитальным периодом. Если внимательнее присмотреться к рис. 9, то можно заметить, что для водородных линий в диапазоне фаз 0.6—0.8 происходит некоторое возрастание эквивалентных ширин линий H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ и HeI 4471. Это, по-видимому, также говорит о том, что в диапазоне фаз 0.6—0.8 наблюдается газ, излучающий водородные линии и HeI 4471. Для линии HeII 4686 локальное возрастание W_λ происходит вблизи фазы 0.7. Можно отметить и тот факт, что, например, для линии H_β перед главным затмением эквивалентная ширина линии вначале уменьшается до 30 Å (рис. 2 и 9, а), а затем резко возрастает до 67 Å. Сразу после затмения W_λ падает до 32 Å, а потом возрастает до 38 Å. У линии H_ϵ , так же как и у H_δ , W_λ вначале уменьшается перед затмением до 14 Å, а затем резко возрастает до 33 Å.

Обнаружено раздвоение линий H_γ , H_δ , H_ϵ , H_δ вблизи фазы 0.5 и, что, на наш взгляд, важно, расширение этих линий и линии HeI 4471 Å на той же фазе. Из рис. 2 видно, что, например, линия HeI 4471 Å имеет плоскую вершину и значительно уширена в интервале фаз 0.4—0.6. Линии водорода вблизи фазы 0.5, особенно H_γ , и еще более H_δ и H_ϵ также становятся «расплюснутыми» и раздваиваются. На рис. 9, в показаны изменения полуширин ряда линий водорода и гелия с орбитальным периодом. Отметим, что увеличение полуширин водородных линий зависит от номера балмеровской линии: так, например, у H_β эффекта почти не наблюдается, у H_δ и H_ϵ он максимален. Заметен тренд в изменениях полуширин линий с фазой орбитального периода.

Другими авторами [12] было обнаружено, что вблизи фазы 0.5 бальмеровские линии имеют двухпиковую структуру. Предложены два варианта объяснения этого эффекта. Первое заключается в том, что причиной раздвоения линий может быть поглощение газом, покидающим систему из внешней точки Лагранжа, второе объяснение предполагает затмение газового потока от

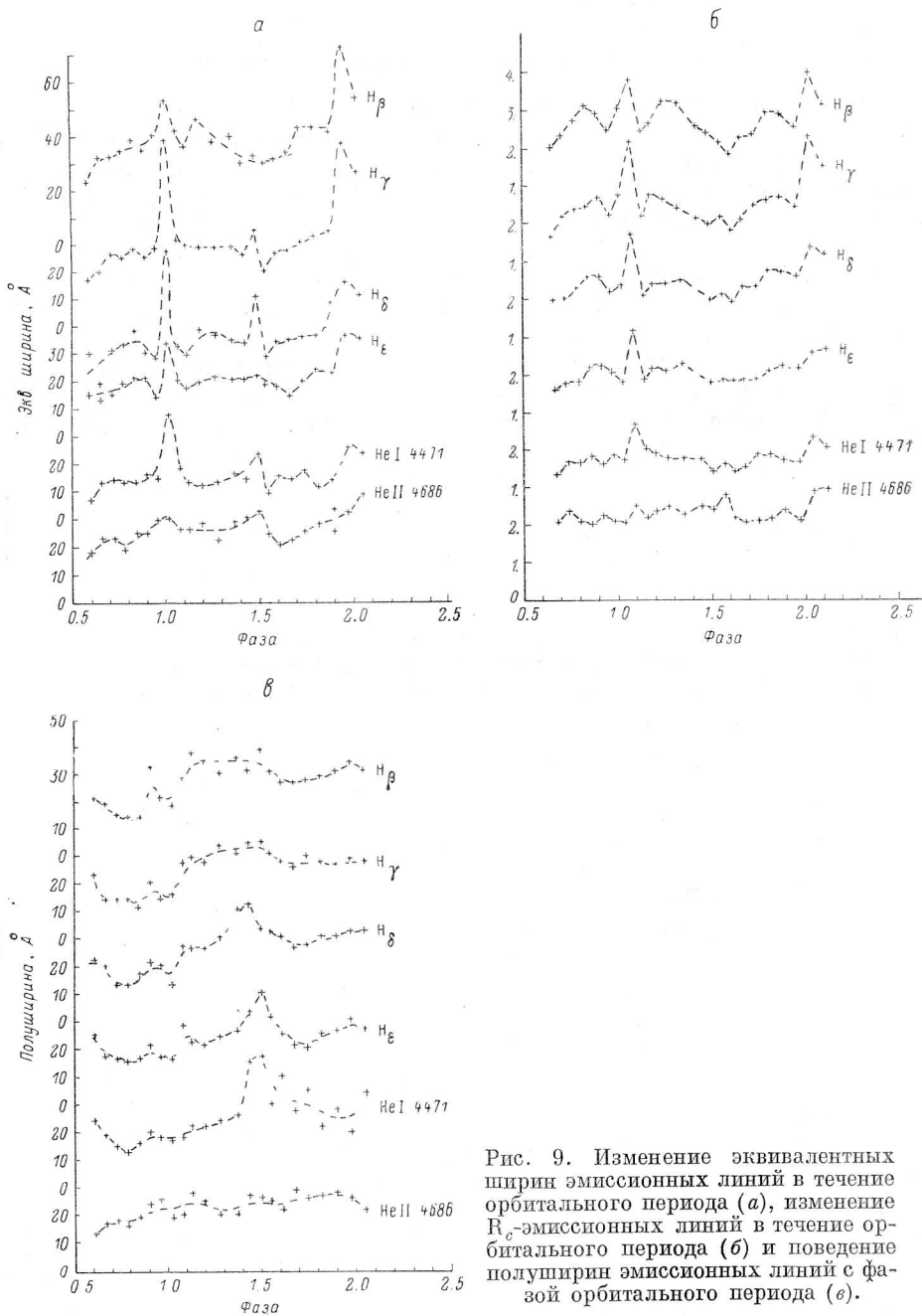


Рис. 9. Изменение эквивалентных ширин эмиссионных линий в течение орбитального периода (а), изменение H_{ϵ} -эмиссионных линий в течение орбитального периода (б) и поведение полуширин эмиссионных линий с фазой орбитального периода (в).

вторичного компаньона к белому карлику. В наших данных эффект двухпиковой структуры водородных линий наблюдается, но слабо. Поэтому мы полагаем, что возрастание полуширин водородных линий и образование двухкомпонентной структуры линий имеют, по-видимому, одну и ту же природу. Комплексный анализ спектральных изменений вблизи фазы 0.5, по нашим измерениям, указывает на возможность третьего варианта объяснения этой особенности, а именно, причиной эффекта может быть асимметрия эмиссионных

областей в окрестности белого карлика, которая приводит к наблюдаемому «синему» смещению центра тяжести линии. В зависимости от темпа перетекания газа в системе возможны изменение степени асимметрии и наблюдение двухпиковой структуры или увеличение полуширины линии со смещением центра тяжести линии в синюю область спектра, что показывают измерения лучевых скоростей вблизи фазы 0.5. Из результатов, полученных нами в целом, и рис. 9 следует, что возрастание эквивалентной ширины HeII (и CIII) в главном затмении (Min I) и вторичном затмении (Min II), по-видимому, связано с изменением яркости непрерывного спектра системы в это время. Для водородных линий и линии HeI 4471 возрастание эквивалентных ширин (W_λ) в Min I также связано с уменьшением общего блеска системы. В Min II для этих линий, по-видимому, работают несколько эффектов: один приводит к повышению W_λ этих линий за счет уменьшения общего блеска системы в это время, а другой уменьшает W_λ этих линий (одним из вариантов может быть исчезновение узких пиков линий, рис. 2, 9, б). Это может произойти в случае затмения газового потока от вторичного компонента к белому карлику, где, по-видимому, и могут возникнуть узкие пики водородных линий. Для некоторых линий эти два процесса друг друга взаимно компенсируют (например, у линии H_β), для других эмиссионных линий (H_γ , H_δ , HeI 4471) в фазе 0.5 наблюдается некоторое возрастание W_λ , но, по-видимому, в основном за счет расширения линий в этой фазе орбитального периода (рис. 9, б, в). Для изучения аккреционной структуры вблизи белого карлика очень важны наблюдения FBS 1031+59 в Min I. Во время этого затмения вторичной звездой постепенно открываются отдельные части аккреционной структуры. При этом изменение блеска и цвета объекта дает информацию о форме и размерах этой структуры, о распределении температуры по ее «фотосфере». Изменение спектра дает информацию о распределении температуры и о поле скоростей. Исследование динамики спектральных изменений в главном и вторичном затмениях с более высоким временным разрешением, по-видимому, позволит нам в дальнейшем уточнить локализацию источников эмиссионного и непрерывного спектров и получить новую информацию о системе.

6. Обсуждение результатов

Для анализа данных о параметрах кривых лучевых скоростей можно сохранимое табл. 1 и 2 представить в графическом виде. Поставим в соответствие полуамплитуде K и фазовому сдвигу $D\Phi$ кривой лучевой скорости локальную область (точку) в двойной системе FBS 1031+59. Предполагаем, что эта область излучает в узком спектральном диапазоне, соответствующем спектральной линии, и вращение ее синхронизовано с орбитальным вращением всей системы (твердотельное приближение). Полуамплитуда кривой лучевой скорости данной области определяется расстоянием от центра масс системы, а фазовый сдвиг — углом между большой осью системы и направлением на данную область из центра масс. Определенные таким образом локальные области будем называть эффективными центрами эмиссии, а их окрестности — областями эмиссии.

На рис. 10 изображена фазовая диаграмма распределения эмиссионных областей в указанном нами приближении для системы FBS 1031+59. Для наглядности показано положение звездных компонент системы. Отношение масс компонент равно 1/3, скорость белого карлика принята нами 100 км/с, что мало отличается от параметров, определенных Шафтером [12]. Положение центра масс обозначено буквой O. Эффективные центры эмиссии соответствуют центрам окружностей, а радиусы этих окружностей равны ошибке определения полуамплитуды кривой лучевой скорости. Большой стрелкой показано направление вращения системы. Направление большой оси системы соответствует фотометрической фазе O. Предполагаемое положение белого карлика обозначено I, а вторичного компонента системы II. Следует подчеркнуть, что взаимное расположение на фазовой диаграмме не тождественно локализации в системе, поскольку для взаимного перехода необходим учет движений вещества относительно звездных компонент системы. Эффективные области эмиссии для ли-

ний HeII и HeI заштрихованы. Из приведенного рисунка видно, что эффективные центры эмиссии для линий гелия разделяются на две группы, что может указывать на наличие в системе двух горячих областей, характер движения газа в которых различается.

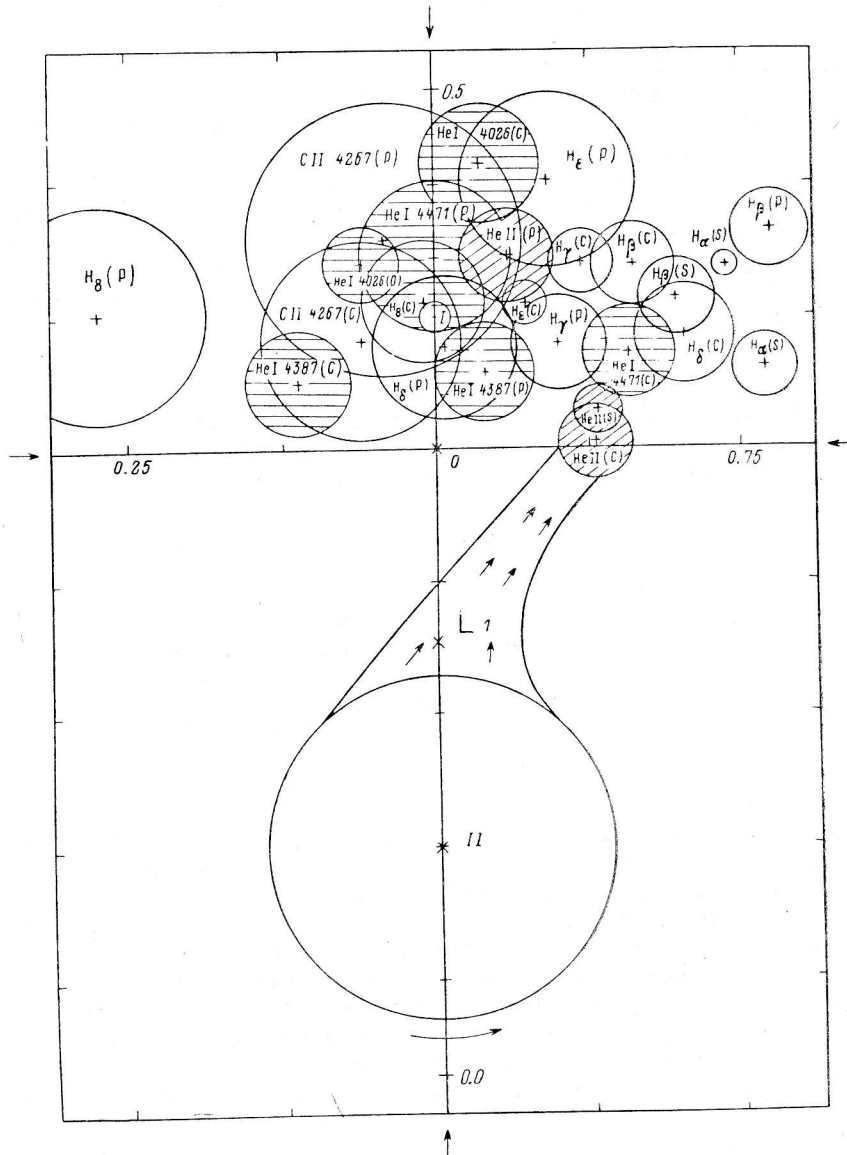


Рис. 10. Возможная модель системы.

Отношение масс равно 1/3, скорость белого карлика равна 100 км/с. Центр масс обозначен буквой O. Эффективные центры эмиссии соответствуют центрам окружностей, радиусы окружностей равны ошибке определения полуамплитуды кривых лучевых скоростей. Ключи в обозначениях линий указывают на способ измерения: S — крылья, C — центр тяжести, P — пик линии.

Из рис. 10 видно, что наблюдается асимметрия распределения эффективных центров эмиссии по отношению к предполагаемому положению белого карлика. Распределение центров эмиссии и возрастание эквивалентных ширин водородных и гелиевых линий в различных фазах орбитального периода хорошо согласуются (рис. 9 и 10) и являются, по-видимому, взаимосвязанными явлениями.

7. Заключение

В результате анализа переменности лучевых скоростей, эквивалентных ширин и полуширин эмиссионных линий в спектре FBS 1031+59 обнаружено следующее.

1. Кривые лучевых скоростей для различных эмиссионных линий имеют различные фазовые сдвиги, гамма-скорости и полуамплитуды.

2. Наблюдаются значительные различия между фазовыми сдвигами кривых лучевых скоростей, определенных по пикам и центрам тяжести эмиссионных линий гелия.

3. Фазовый сдвиг у водородных линий меняется с номером бальмеровской линии.

4. Среднеквадратичные отклонения измеряемой по центру тяжести линии лучевой скорости от синусоиды возрастают с ростом фазового сдвига (H_β — H_ϵ), что может свидетельствовать о связи фазового сдвига с нестационарными процессами в системе.

5. Эквивалентные ширины всех наблюдаемых линий возрастают в главном минимуме орбитального периода, а ряд линий (H_γ , H_δ , HeI 4471, HeII 4686, CIII, NIII 4640—4650, HeI 4922 и CII 4267) показал рост эквивалентных ширин вблизи вторичного минимума (фаза 0.5).

6. Полуширины линий H_γ , H_δ , HeI 4471 имели максимальное значение вблизи фазы 0.5.

7. Анализ параметров кривых лучевых скоростей указывает на наличие в системе значительной температурно-геометрической асимметрии распределения эмиссионных областей в окрестности белого карлика, а также на то, что локализация и кинематика областей формирования эмиссионных линий в FBS 1031+59 существенно связана с состоянием ионизации и возбуждения газа.

В целом на основании следующих наблюдательных фактов: 1) линия HeII 4686 сравнима по интенсивности с H_β ; 2) асимметрия профилей линий с орбитальным движением (из работы [21] следует, что асимметрия профилей спектральных линий является принципиальным свойством полярных, обусловленным самим типом аккреции в этих системах, и поэтому может быть использована для их поиска); 3) эмиссионные линии в первом приближении делятся на широкую и узкую составляющие, причем амплитуды и фазы изменения лучевых скоростей обеих составляющих различаются; 4) из фотометрических данных [12] следует, что в кривых блеска нет горба, характерного для горячего пятна в диске, что может свидетельствовать, по-видимому, в пользу факта отсутствия аккреционного диска в системе; 5) присутствует значительная температурно-геометрическая асимметрия аккреционной структуры в окрестности белого карлика — мы считаем, что система FBS 1031+59 может являться магнитной тесной двойной (полярной, промежуточной полярной), хотя окончательное решение вопроса о принадлежности двойной системы к полярным остается за поляризационными измерениями. Полученные результаты могут быть использованы для моделирования аккреционных потоков в системе.

В заключение выражаем благодарность Н. В. Борису за участие в наблюдениях и Л. В. Городовой за помощь в оформлении рукописи.

Литература

1. Ritter H. Catalogue of cataclysmic binaries, low-mass X-ray binaries and related objects (fourth edition) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1987. 70. P. 335—367.
2. Robinson F. L. The structure of cataclysmic variables // *Ann. Rev. Astr. Ap.* 1976. 14. P. 119—142.
3. Warner B. Observations of dwarf novae // *IAU Symposium 73, The structure and evolution of close binary systems* / Ed. P. Eggleton, S. Mitton, J. Whelan. Dordrecht: Redel, 1976. P. 85—140.
4. Cordova F. A., Mason K. O. Accreting degenerate dwarfs in close binary systems // *Accretion driven stellar X-ray sources* / Ed. W. H. G. Lewin, E. P. J. Van den Heuvel. Cambridge: Cambridge University press, 1983. P. 147—187.

5. Wade R. A., Ward M. J. Cataclysmic variables: observation overview // *Interacting binary stars* / Ed. J. E. Pringle, R. A. Wade. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. P. 129—176.
6. Андронов И. Л. «Swinging dipoles» in magnetic close binary stars // *Astrophysics and Space Science*. 1987. 131. P. 557—570.
7. Гроппер М. The magnetic cataclysmic variables // *Australian journal of astronomy*. 1987. 2, nr 1. P. 1—20.
8. Lamb D. Q., Melia F. Evolution of magnetic cataclysmic binaries // *Astrophys. Space Sci.* 1987. 131. P. 511—547.
9. Спектральные исследования группы новых катаклизмических переменных из первого Бюраканского обзора на 6-м телескопе / И. М. Копылов, В. А. Липовецкий, Н. Н. Сомов и др. // *Астрофизика*. 1988. 28, вып. 2. С. 287—296.
10. Копылов И. М., Сомов Н. Н. Оперативная оценка затменного периода поляра FBS 1031+59 со сканером БТА // *Сообщ. САО*. 1987. 56. С. 51—52.
11. Shafter A. W., Hessman F. V. Time resolved spectroscopy and photometry of a new eclipsing cataclysmic variable, PG 1030+590 // *Bull. AAS*. 1984. 16. P. 505.
12. Shafter A. W., Hessman F. V., Zhang E. H. Photometric and spectroscopic observation of the eclipsing nova-like variable PG 1031 +590 (DW Ursae majoris) // *Astrophys. J.* 1988. 327. P. 248—264.
13. Драбек С. В., Копылов И. М., Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс-сканер БТА. I: Новые возможности и описание работы // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1986. 22. С. 64—72.
14. Сомов Н. Н. Разработка метода динамической телевизионной спектроскопии слабых нестационарных звезд на 6-метровом телескопе: Дис. в форме науч. докл. на соиск. учен. степени канд. физ.-мат. наук. Нижний Архыз: САО АН СССР, 1988. 28 с.
15. Копылов И. М., Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Возможности спектрофотометра — сканера БТА в исследовании быстрых нестационарных процессов на примере поляров FBS 1031+59 и AM Геркулеса // *Сообщ. САО*. 1987. 56. С. 49—50.
16. Копылов И. М., Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс-сканер БТА. III: Автоматизированная экспрессная обработка звездных спектров // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1986. 22. С. 77—88.
17. Сомов Н. Н. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс-сканер БТА. II: СИПРАН — специализированный язык программирования // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1986. 22. С. 73—76.
18. Копылов И. М., Кумайгородская Р. Н., Сомова Т. А. Спектр SS 433 в стадии вспышечной активности (июль 1980 г.) // *Астрон. журн.* 1985. 62. С. 323—338.
19. Быстрая спектральная и фотометрическая переменность SS 433 / И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская, Н. Н. Сомов и др. // *Астрон. журн.* 1986. 63, вып. 4. С. 690—701.
20. О характере переменности спектра SS 433 с 6-дневным периодом (июнь—август 1981 г.) / И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская, Н. Н. Сомов и др. // *Астрон. журн.* 1987. 64, вып. 4. С. 785—802.
21. Войханская Н. Ф. Сравнение характеристик карликовых новых, новоподобных и поляров. Новый критерий поиска поляров // *Письма в АЖ*. 1987. 13, № 7. С. 597—604.

Поступила в редакцию
23 мая 1989 г.