

ТЕСНЫЕ ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА АМ ГЕРКУЛЕСА. ОБЗОР НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Н. Ф. Войханская

В настоящем обзоре собрана по возможности полная сводка наблюдательных данных о тесных двойных системах типа АМ Гер.

Анализ этих данных не опирался на какие-либо априорные соображения о механизмах возникновения и распространения излучения. Сформулированы общие свойства систем и рассмотрен вопрос о способах и результатах определения поверхностного магнитного поля белого карлика. Сделано заключение о существовании в объеме таких систем околзвездного вещества (ОЗВ) типа неоднородной обширной оболочки. Обсуждаются механизмы появления ОЗВ. В рамках новой модели с ОЗВ получены объяснение многие наблюдательные результаты, в том числе «загадка мягкого рентгена».

As complete observational data as possible on close binaries of AM Her type are compiled in this review. An analysis of these data is performed without taking into account any a priori considerations on mechanisms of radiation and its propagation. General properties of the systems are formulated. The procedure of the white dwarf surface magnetic field determination and the results themselves are considered. A conclusion is drawn on the existence of circumstellar matter (CM) of inhomogeneous extensive envelope type in the volumes of such systems. Mechanisms of appearing of CM are discussed. In the frames of new model with CM many observational results can be explained including «the problem of soft roentgen».

Летом 1976 г. Таппа [1] проводил поляризационные наблюдения переменной звезды АМ Гер. Он обнаружил пик линейной поляризации 5.5 %, который периодически повторялся через 3.1 ч. Так был открыт первый член группы магнитных переменных звезд, получивших теперь название двойных систем типа АМ Гер.

Главным компонентом в системах типа АМ Гер является белый карлик, обладающий сильным магнитным полем. Вторичным компонентом является карлик позднего спектрального класса. Вещество, перетекающее от вторичного компонента к главному, не образует вокруг него аккреционного диска. Этому препятствует сильное магнитное поле главного компонента, которое управляет движением струи газа и направляет ее на магнитные полюса белого карлика. Здесь, в полярных областях, происходит выделение энергии за счет процесса аккреции. Спектральный диапазон выделяемой энергии очень широк — от жесткого рентгена до далекой инфракрасной области. Характерной чертой оптического излучения является его сильная поляризация, за что системы типа АМ Гер называют полярами, по предложению Крземинского и Серковского. В табл. 1 перечислены известные поляры и указан год открытия объекта как поляра.

В настоящем обзоре мы стремились собрать наиболее полную сводку наблюдательных данных, чтобы проанализировать их, не опираясь ни на какие теоретические соображения о механизмах возникновения и распространения излучения. Мы надеялись, что такой сравнительный анализ, во-первых, откроет какие-то новые свойства этих систем, которые ускользают при рассмотрении каждого объекта в отдельности, а во-вторых, позволит по-новому посмотреть на наши современные представления об этих системах. Нас всегда интересовало, почему при одинаковой модели и довольно небольшой дисперсии характеристик систем наблюдается такое разнообразие свойств катаклизмических

ТАБЛИЦА 1
Список известных полярнов

Объект	Координаты на 1950.0	Период, мин	Пределы изменения блеска	Год открытия
	h m s ° ' "		m m	
AM Her	18 14 58+49 50 48	186.6	12.5—15	1976
AN UMa	11 01 34+45 20 54	114.8	14.5—20	1977
VV Pup	08 12 52—18 53 54	100.4	14—18	1977
2A 0311—227, EF Eri	03 12 00—22 46 48	81.0	15—18	1979
PG 1550+191, MR Ser	15 50 33+19 05 18	113.6	14.5—17	1981
E 1114+182, DP Leo	11 14 38+18 14 05	89.8	17.5—19	1981—1982
H 0139—681, BL Hvi	01 39 38—68 08 32	113.6	15.5—17.5	1982
E 2003+225, QQ Vul	20 03 31+22 31 28	222.5	15—17	1982
CW 1103+254, ST LMi	11 02 58+25 22 42	113.9	15.7—16.6	1982
E 1405—451, V 834 Cen	14 05 58—45 03 05	101.5	15—17	1982
H 0538+608	05 38 16+60 50 03	186±12	От 14.5 до >17	1985
IE 1048.5+5421	10 48 34+54 20 33	114±1	19	1985
EXO 023432—5232.3	02 34 32—52 32 15	114.6	18—20	1987
EXO 033319—2554.2	03 33 20—25 54 14	126.5	17—21	1987

переменных. Причина различий нам кажется важнее причины их подобия. Мы будем искать эту причину различия при сравнительном анализе наблюдательных данных.

Как сказано выше, теоретические вопросы возникновения и распространения всех видов излучений, вопросы эволюции и моделирования систем типа AM Her здесь не рассматриваются. Они достаточно подробно изложены в других работах, например в обзоре Либерта и Стокмана [2]. Настоящий обзор является полным по работам, опубликованным до конца 1987 г. В помещаемых ниже таблицах пропуски означают, что соответствующая величина автором не указана и оценить ее не удалось. Обозначение б/ф отмечает наблюдения без фильтра в широкой полосе. Когда границы полосы известны, они приводятся в таблицах. Наблюдаемые кривые и зависимости показаны на рисунках, как правило, схематически. Это связано с большой трудоемкостью сведения к одному масштабу результатов из разных работ. При сравнении кривых надо иметь в виду следующее: точность фотометрических наблюдений составляет 0^m.01—0^m.02, поляризационных — не хуже 1—2 %, ошибка определения эквивалентных ширин и интенсивностей линий — 10—15 % для сильных ($W \geq 5 \text{ \AA}$) линий и в 2—3 раза больше для слабых, ошибка определения лучевых скоростей составляет у большинства авторов 10—20 км/с, а ошибка определения полуамплитуды K и γ -скорости кривых лучевых скоростей будет примерно вдвое больше.

Основные наблюдательные результаты AM Her

К настоящему времени опубликовано большое количество работ, в которых рассматривается изменение блеска системы в течение орбитального периода. Их так много, что мы не составляем сводной таблицы всех наблюдений, что сделано для других полярнов, так как это заняло бы слишком много места. Приводимые ниже результаты основаны на сравнении и измерении практически всех опубликованных кривых блеска. Здесь и далее используются поляризационные фазы, когда фаза $\varphi=0.0$ соответствует пику линейной поляризации. В разделе о фотометрии рассмотрены только оптика и инфракрасный диапазон. Рентгеновские и ультрафиолетовые наблюдения рассматриваются далее отдельно.

Фотометрия. Долговременные изменения блеска AM Her прослежены начиная с 1890 г. [3—7]. Установлено, что у системы наблюдаются два основных состояния среднего блеска: высокое H с $\bar{V} \approx 12^m.5$ и низкое L с $\bar{V} \approx 15^m$. Большую часть времени система находится в H -состоянии. Четкой периодичности в чередовании H - и L -состояний не обнаружено.

Примеры орбитальных кривых блеска в разных полосах и состояниях системы приведены на рис. 1. U - и B -кривые представляют собой синусоиды малой амплитуды с максимумом на $\varphi \approx 0.2$ и минимумом на $\varphi \approx 0.7$. Полуамплитуды кривых $\sim 0^m 1$ в U и $\sim 0^m 2$ в B . Начиная с V и в более длинноволновой области форма кривых меняется. Появляется широкое главное затмение на $\varphi \approx 0.6$. Его глубина в V составляет $0^m 5 - 0^m 7$, а ширина около $0.6P$. Кроме главного появляется вторичное затмение близ фазы $\varphi \approx 0.0$. Его глубина примерно вдвое меньше глубины главного. С увеличением длины волны глубина вторичного затмения увеличивается и постепенно сравнивается с главным. В полосе K вторичное затмение является самой заметной деталью кривой блеска, а главное затмение на $\varphi \approx 0.6$ становится очень мелким или совсем исчезает.

При переходе системы в L -состояние форма кривых блеска в полосах V и более длинноволновых меняется таким образом, что глубины обоих затмений становятся примерно одинаковыми. U - и B -кривые меняются иначе: форма их остается синусоидальной, но примерно вдвое увеличивается амплитуда. Кроме

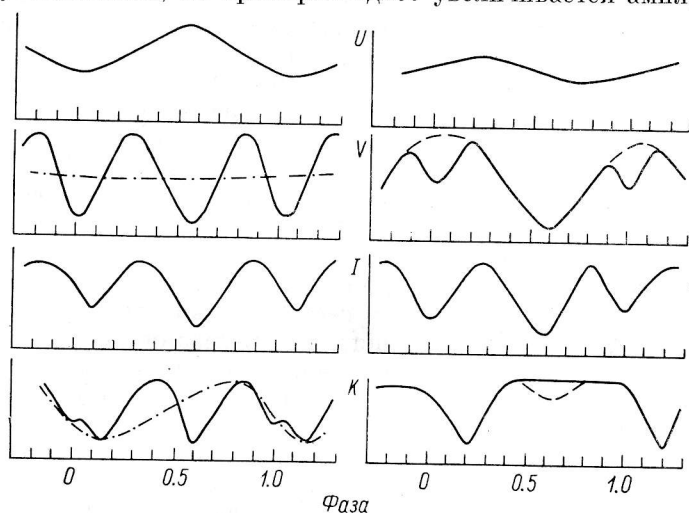


Рис. 1. Кривые блеска AM Her в H - (справа) и L - (слева) состояниях системы. Штрихами и штрихпунктиром отмечены наблюдаемые изменения кривых.

того, они сдвигаются по фазе: теперь минимум расположен в области фаз $\varphi \approx 0.0 - 0.1$, а максимум на $\varphi \approx 0.6$. То есть в L -состоянии вторичный минимум наблюдается во всем оптическом диапазоне, а главный минимум — только в длинноволновой области. В U - и B -полосах на месте главного минимума находится максимум. Кривые блеска на рис. 1 заимствованы из работ [8—13]. Кривая блеска в полосе V во время L -состояния системы представляет собой почти правильную синусоиду с двумя минимумами одинаковой глубины $0^m 5 - 0^m 6$. Иногда регулярные изменения блеска отсутствуют [13]. При переходе системы в H -состояние минимум на фазе 0.0 сменяется максимумом с небольшим вторичным минимумом, который виден не всегда. Рассмотрение свойств вторичного минимума показало, что его положение изменяется в пределах $0.15P$, глубина и ширина переменны, а иногда он совсем пропадает. Главный минимум на фазе 0.6 стабилен и хорошо заметен при любом блеске системы.

На кривых блеска AM Her заметен хорошо развитый фликкеринг с амплитудой до $0^m 2$. Он наблюдается во всех фазах кривой блеска и во всех спектральных диапазонах [14, 15]. Продолжительность характерной фликкеринговой вспышки 70—90 с [16, 17], но бывает в 3—4 раза короче [18]. В [10] отмечается очень красный цвет таких вспышек $B - V = 1^m 2$. В подавляющем большинстве случаев фликкеринг представляет собой случайный процесс. Квазипериодическая составляющая в нем наблюдается довольно редко, периоды заключены в пределах 30—60 с. Когерентных колебаний не наблюдалось ни разу.

От AM Her было зарегистрировано радиоизлучение. Средний поток составлял $3.4 \cdot 10^{15}$ эрг/(Гц·с). Поток был постоянен в течение орбитального периода

и не поляризован [19]. 8 июля 1982 г. была зарегистрирована вспышка на частоте 4.9 ГГц (6 см), продолжавшаяся 10 мин. Во время вспышки поток увеличился в 20 раз и был полностью поляризован [20]. Долговременное изменение радиоизлучения было прослежено с конца 1981 г. по 1985 г.: поток меняется по величине и степени поляризации [21].

Заканчивая это краткое рассмотрение результатов фотометрического излучения АМ Нег, следует отметить нестабильность всех фотометрических характеристик системы. Поэтому можно говорить только о некоторых средних характеристиках, так как все они меняются со временем, длиной волны и изменением среднего блеска системы.

Рентген и ультрафиолет. Сведения о рентгеновских и ультрафиолетовых наблюдениях АМ Нег собраны в табл. 2, а примеры рентгеновских кривых блеска

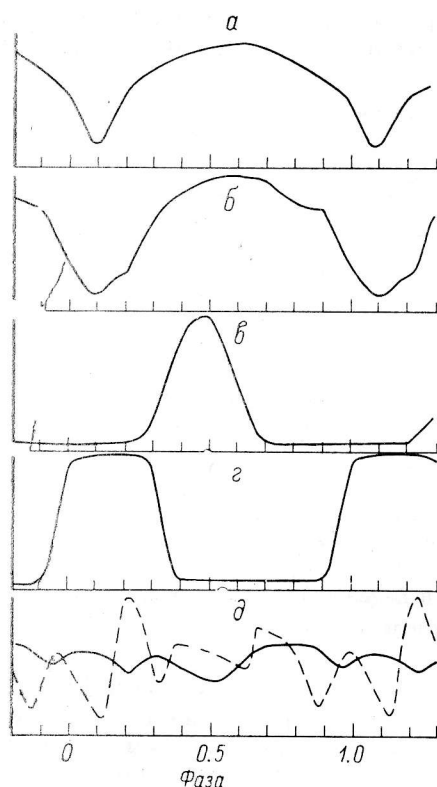


Рис. 2. Примеры рентгеновских кривых блеска АМ Нег.

а — жесткий рентген; б—г — мягкий; д — сплошная линия — диапазон 0.1—0.4 кэВ, штриховая — 1—40 кэВ.

показаны на рис. 2. В жестком диапазоне ($\epsilon > 2$ кэВ) на кривых блеска имеется широкое и глубокое затмение на $\varphi \approx 0.1$. Между затмениями поток плавно меняется и достигает максимальной величины на $\varphi \approx 0.6$ (рис. 2, а). Кривые блеска в жестком диапазоне оказались очень стабильны. Можно отметить лишь незначительное изменение ширины затмения и уровня потока между затмениями. В мягком диапазоне ($\epsilon < 0.5$ кэВ) форма кривых блеска, наоборот, оказалась очень переменна. Иногда наблюдаются кривые, подобные кривым в жестком диапазоне (рис. 2, б). Однако ширина затмения меняется настолько сильно, что временами остается лишь небольшая область фаз, с центром на $\varphi \approx 0.5$ и шириной $\sim 0.3P$, во время которой наблюдается поток мягкого рентгена (рис. 2, в). Особенно сильно меняется нисходящая ветвь затмения, что создает впечатление сдвига кривой блеска по фазе. Изменение формы кривой в мягком рентгене не связано с уровнем оптического блеска системы — одинаковые кривые наблюдаются как в H , так и в L -состояниях. В момент затмения поток составляет 4—5 % от величины потока вне затмения.

Летом 1983 г. Хэйсе и др. [38] наблюдали кривую блеска в мягком рентгене, которая находилась в противофазе с обычными кривыми (рис. 2, г). До этого подобные кривые блеска никогда не наблюдались. Кривая в жестком рентгене

при этом не изменилась. В конце 1983 г. и в 1984 г. наблюдались аналогичные, обращенные, кривые в мягком рентгене наряду с нормальными кривыми [39]. Кривые блеска в оптическом диапазоне не менялись при любом виде рентгеновской кривой.

Вне затмения кривые характеризуются сильным фликкерингом на шкале времени от нескольких секунд до десяти минут [31, 37, 38, 41]. Амплитуда фликкеринга доходит до 50 % от среднего уровня блеска. В [31] и [41] выделена квазипериодическая составляющая фликкеринга с периодами 28.2 и 35 с. Кроме того, в [31] отмечается существование очень быстрой переменности: поток заметно меняется за 1.28 с. В [41] искали корреляцию между колебаниями блеска в мягком рентгене и поляризованного излучения в оптике, а в [42] — между колебаниями блеска мягкого и жесткого рентгена. В обоих случаях корреляция отсутствовала.

ТАБЛИЦА 2

Наблюдения рентгеновского и ультрафиолетового излучения AM Her

Дата наблюдений	Полоса, кэВ, Å	Блеск V	Источник	Примечания
11—12.10.1975	2—60 0.15—25	12 ^m 7	22	
11—12.10.1975	0.1—40	12.7	23	
12—22.05.1976	0.1—0.4 0.4—2.5	14.8	24	
6—12.11.1976	0.15—0.28 1—40	12.7	25	Поток не модулирован То же
12—22.02.1977	26—1200	L	26	Слабая неуверенная модуляция
14.09.1977	0.15—0.5	H	27	
20.09.1977	16—120	H	28	
22.09—2.10.1977	0.18—0.5	H	29	
1—10.10.1977	2—25	H	30	
28.03—18.04.1978	0.1—1.5	12.5—13	31	
03—04.1978	0.1—150	H	32	
04—07.1978	1150—3200 Å	H	33	
05—07.1978	1150—3200 Å	~13	34	
17.03.1979	0.1—4.5 2—6	12.8	35	
03.1979	0.1—0.3	12.8	36	
22, 30.06.1980	1150—3200 Å	15—15.5	9	
21.08.1980	0.1—8	14.5	37	
28.09.1980	1150—3200 Å	15	9	
29.06.1983	0.1—0.3	H	38	} Обратенная кривая блеска
10.08.1983	1—30	H	38	
13, 22.09.1983	Soft X-ray	14 ^m	39	} Обратенная и нормальная кривые
11.1983		L	40	
07.1984		H	40	
14—16.08.1984	То же		39	} Обратенная кривая » »
26, 27.10.1984	» »	14.2	39	

В октябре 1976 г. Придворский и др. [25] получили необычные кривые блеска: в них отсутствовали экстремумы и поток менялся беспорядочно. Часть этих кривых показана на рис. 2, δ . Ни до, ни позже таких кривых никто не получал. При этом поток мягкого рентгена был очень мал: $0.9 \cdot 10^{-11}$ эрг/(см²·с), а жесткого — один из самых больших: $8 \cdot 10^{-11}$ эрг/(см²·с). Это необычное явление в рентгеновском диапазоне сопровождалось значительным изменением кривых поляризации, о чем будет сказано ниже. Кривые оптического блеска при этом не изменились [10].

Распределение энергии в спектре AM Her при разных уровнях блеска системы показано на рис. 3. Распределение для H -состояния взято из обзора [43], для L -состояния — из работ [9, 26, 37]. Из рис. 3 видно, что в области низких энергий $\epsilon < 0.2 \div 0.3$ кэВ ($\lg \lambda > 1.6$) распределение в H -состоянии идет выше, чем в L , что не является неожиданным. А в области высоких энергий картина обратная: в L -состоянии система излучает больше, чем в H . Различны также формы распределения. В L -состоянии блеска распределение довольно плавное, а в H -состоянии наблюдается резкий максимум на 0.2 кэВ и в области энергий 0.4—1.4 кэВ излучение не регистрируется. Оно или отсутствует, или настолько мало, что не может быть измерено. В H -состоянии была зарегистрирована эмиссионная линия на 6.4 кэВ с полушириной менее 0.5 кэВ [32].

В континууме ультрафиолетовой области выделяют два компонента: $F_1 \propto \nu^2$ и $F_2 \propto \nu^{-1}$. В H -состоянии системы первый компонент исчезает в момент затмения, а второй присутствует всегда. В L -состоянии наблюдается только первый компонент, а второй отсутствует. По-видимому, источники ультрафиолетового излучения при разных блесках системы разные. В [40] показано, что максимум ультрафиолета наблюдается при минимальном потоке мягкого рентгена, что делает невозможной прямую интерпретацию переменного ультрафиолетового потока как длинноволновой части чернотельного мягкого излучения.

Ультрафиолетовый участок спектра (1200—3000 Å) в *H*-состоянии системы содержит сильные эмиссионные линии высоковозбужденных элементов в разных стадиях ионизации. Эквивалентные ширины линий меняются в течение ор-

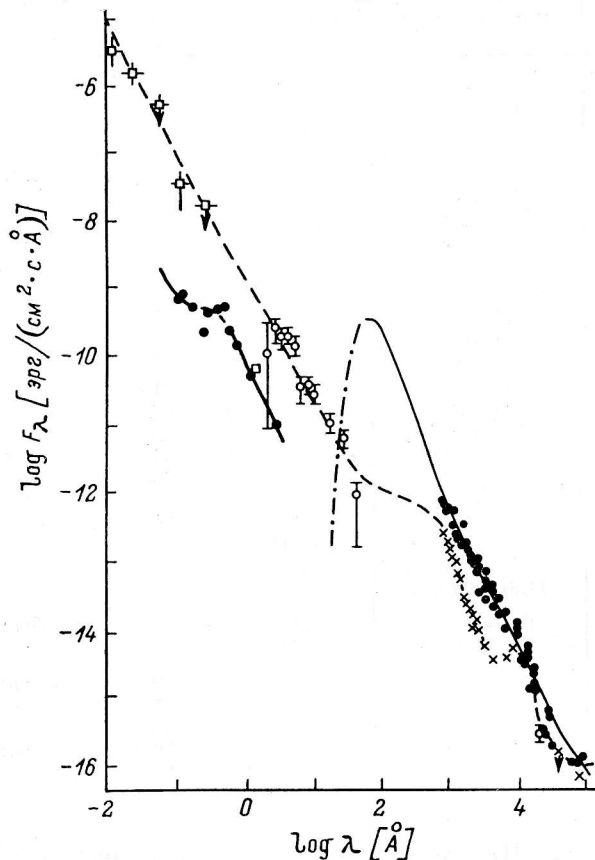


Рис. 3. Распределение энергии в спектре AM Her.

битального периода. При переходе системы в *L*-состояние линии ослабевают и многие из них исчезают. Подробнее о линейчатом спектре будет сказано в разделе о спектроскопии.

ТАБЛИЦА 3
Наблюдения линейной поляризации AM Her

Дата наблюдений	Блеск, <i>V</i>	Полоса	мах, %	Средняя вне мах	Источ-ник	Примечания
06—08.1976	13 ^m 5—12.7	<i>U</i>	—	≲1	1	
	12.7	<i>V</i>	6	≲1		
Конец 1976	12.7	<i>V</i>	5	~1	44	мах сместился и стал широким
		<i>R</i>	4	~2		
17.05.1977	13.3	<i>V</i>	—	≲1	45	
18, 19, 22.05.1977	13.2	<i>V</i>	1.5—2.5	~0.5	46	Раздвоенный мах
2, 3, 8.09.1977	13.2	<i>V</i>	~1	≲0.3	46	
23.04.1978	<i>H</i>	<i>K</i>	—	0	47	
04—09.1978	12.8—13	<i>V</i>	≲1.3	~0.15	48	
15.05.1979	13.1	<i>R</i>	—	~3	49	
16, 17, 22.09.1979	12.8	<i>V</i>	—	Очень низкая	50	Возможно, слабый раздвоенный мах
5.06.1984	13.9	<i>V</i>	1.8	0.3	51	Беспорядочное изменение в области фаз 0.0—0.77. Возможно, несколько слабых мах
		<i>R</i>	3.2	0.2		Широкий мах
		<i>I</i>	4	0.5		Раздвоенный мах

Поляризация. Первые кривые линейной и круговой поляризации Тапия [1] показаны на рис. 4, а и 5, а. В это время в полосе *V* наблюдался четкий пик линейной поляризации, равный 6 %, а круговая поляризация изменялась сложным образом, в течение орбитального периода от +3 до -9 %. Последующие наблюдения выявили большую переменность поляризации со временем. Результаты наблюдений поляризации собраны в табл. 3 и 4.

В конце 1976 г. единственный раз наблюдалось сильное смещение и уширение пика линейной поляризации (рис. 4, б) [44]. Начиная с 1977 г. величина линейной поляризации сильно уменьшилась и редко достигала 2 %, причем пик иногда раздваивался. Примеры кривых линейной поляризации показаны на рис. 4. Изменение величины линейной поляризации с длиной волны изучено плохо. Основываясь на результатах [1], можно предположить, что с уменьшением длины волны она уменьшается, так как в полосе *U* пик не наблюдался,

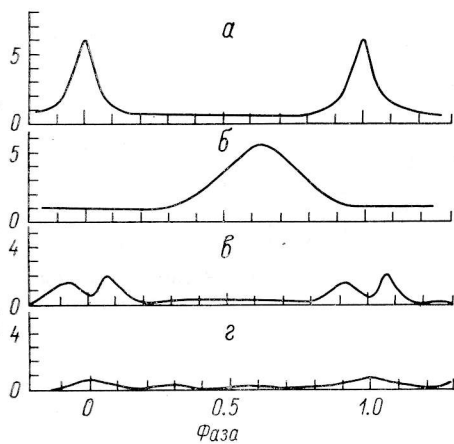


Рис. 4. Примеры кривых линейной поляризации АМ Нег.

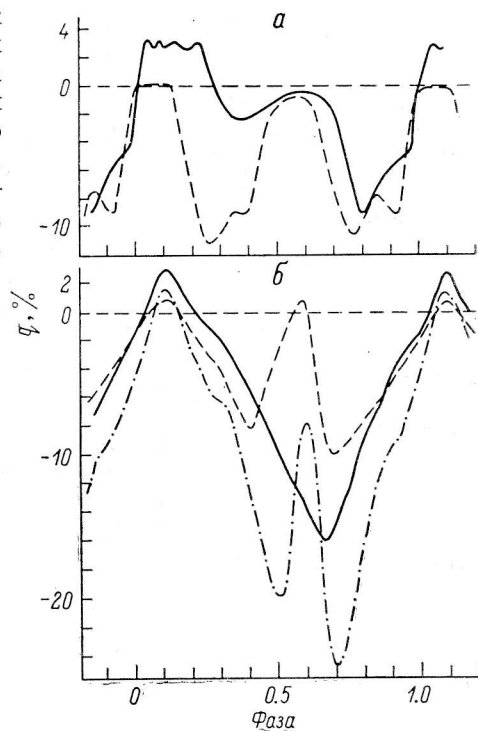


Рис. 5. Некоторые кривые круговой поляризации АМ Нег.

а — кривые в полосе *V* из [1] (сплошная линия) и [55] (штриховая), *б* — кривые в полосе *I* из [44] (сплошная линия), [50] (штриховая) и [51] (штрихпунктирная).

в то время как в *V* он достигал 6 %. В полосах *V* и *R* линейная поляризация была примерно одинакова. В [47] не найдено пика линейной поляризации в полосе *K*, но в это время он был очень мал и в *V* [48]. В [51] наблюдается слабая поляризация в *V* (~1.5 %) и широкие, возможно раздвоенные, пики в *R* (~3 %) и в *I* (~4 %). Таким образом, как будто бы подтверждается предварительный вывод [1] об увеличении линейной поляризации с длиной волны.

Круговая поляризация изменяется сложным образом в течение орбитального периода, причем форма кривых поляризации меняется как с длиной волны, так и со временем. В первых наблюдениях [1] поляризация была положительна в области фаз 0.0—0.2, затем меняла знак и достигала максимального отрицательного значения около $\varphi \approx 0.9$ (рис. 5, а). Момент пика линейной поляризации совпадал со сменой знака круговой поляризации. В момент главного фотометрического минимума $\varphi = 0.6$ круговая поляризация уменьшалась почти до нуля. На рис. 5, а показана кривая круговой поляризации, наблюдавшаяся в низком состоянии блеска летом 1980 г. [55]. Замечательной особенностью этой кривой является постоянный отрицательный знак поляризации в течение всего периода. В ярком состоянии блеска постоянный отрицательный знак поляризации наблюдался однажды [49] и сопровождался сильным уменьшением кривой амплитуды (до -6 %).

ТАБЛИЦА 4
Наблюдения круговой поляризации AM Нег

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса	+max, %	-max, %	Источ-ник	Примечания
17, 18.09.1976	12 ^m 8	V	3	9	1	
29.09.1976	12.8	U	1	0.8	52	
Конец 1976	12.7	R	3.5	9	44	Искажение на $\varphi=0.6$ по- степенно уменьшается и наименьшее в I
		V	3.5—4	6		
		V	3	7		
		R	2.5	10.5		
		I	2	10		
18, 19.06.1977	12.9	V	2.3	10	53	В полосе I на $\varphi=0.6$ искажения нет
20—22.07.1977	12.9	I	3	16	53	
19.07.1977	12.9	δ/ϕ	2	8.5	54	
18.04.1978	12.7	δ/ϕ	0.5	7	41	
15.05.1979	13.1	R	0	6	49	
16, 17, 22.09.1979	12 ^m 8	V	1.5	3	50	Искажение на $\varphi=0.6$ постепенно ослабевает и в I наименьшее
		V	2.5—3	7—8		
		R	1	10		
		I	1	10		
21.06.1980	15	R	0	11	55	max отрицательной по- ляризации кажется раздвоенным
1—3.06.1981	14.3	V		15	56	Кривые меняются от но- чи к ночи
23, 24.07.1982	14	V	12	15	12	Искажение на $\varphi=0.6$ постепенно уменьша- ется и исчезает в 1.4 μ
		R	8	20		
		J	2	10		
		1.4 μ	2	10		
		H				
6.06.1984	13.9	K	1	20	51	Искажение на $\varphi=0.6$ по- степенно уменьшается
		U	4.5	1.5		
		V	13.5	6.5		
		V	14	21		
		R	5	22		
		I	1.5	25		
17, 18, 22.09.1985	15.4	V	0	0	13	Искажение на $\varphi=0.6$ не видно только в K
		R	1.5	6		
		I	0.7	8		
		J	3.6	6		
		H	1	22		
		K	5	25		

Сравнение результатов разных авторов показывает, что форма и амплитуда кривых круговой поляризации не остаются постоянными, а меняются со временем. Дополнительное изменение с длиной волны состоит в том, что с ее увеличением кривые поляризации приобретают все более простую синусоидальную форму и как бы опускаются в область отрицательных значений поляризации. Искажение в области фазы 0.6 (фаза главного оптического минимума) постепенно уменьшается, а иногда пропадает совсем (рис. 5, б).

Кроме долговременной переменности на кривых поляризации наблюдается переменность типа фликкеринга на временах десятки (10—20) секунд [46, 54], однако когерентности в ней не найдено.

Отметим возможную связь необычных изменений поляризации с другими явлениями. Замечательное смещение и уширение пика линейной поляризации, наблюдаемое в [44] (рис. 4, б), сопровождалось появлением искаженных бесформенных кривых блеска в рентгене [25] (рис. 2, в). Кривая круговой поляризации при этом не изменилась.

Спектроскопия. Сведения о спектральных наблюдениях AM Нег приведены в табл. 5. В высоком (H) состоянии блеска в спектре присутствуют сильные эмиссионные линии H, HeI и II, бленда CIII—NIII $\lambda 4640 \text{ \AA}$, линия CaII $\lambda 3933 \text{ \AA}$. Это основные компоненты спектра всех полярных звезд, но иногда могут появиться слабые линии других элементов в разных стадиях ионизации. Профили линий имеют сложную форму. Они асимметричны, причем величина и знак асимметрии

меняются в течение периода. Существует небольшая область фаз, где линии становятся симметричными, а по обе стороны от нее линии имеют противоположную асимметрию. Линии можно разделить на два компонента: резкий пик

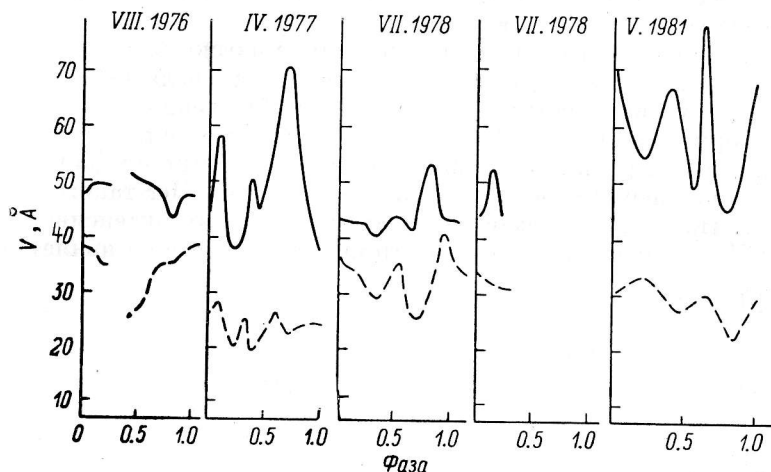


Рис. 6. Изменение эквивалентных ширин линий H_{β} (сплошная линия) и $HeII \lambda 4686$ (штриховая) в течение орбитального периода АМ Нег в разные годы.

и широкое основание [59]. Работами многих авторов было показано, что пик и основание являются разными линиями с разными свойствами и разными областями формирования.

Изменение эквивалентных ширин и интенсивностей линий в течение орбитального периода очень различается в разные годы. Для примера на рис. 6

ТАБЛИЦА 5
Спектральные наблюдения АМ Нег

Дата наблюдений	Блеск V	D, Å/мм; R, Å	Область спектра	$\frac{HeII}{H_{\beta}}$	Источник
31.03.1974	14 ^m 9	D=238	6500—3200	0	57
21.08.1976	13	R=17	6600—3200	0.76	52
22, 24, 25.08.1976	13	D=48	5200—3600	0.56	58, 59
5.09.1976	12.5	R=30	H_{β}	—	17
12.09.1976	12.5	D=43	5000—3400	0.4:	52
15.09.1976	12.5	D=120	4900—3200	—	59
27.09.1976	12.5	R=56	10800—3200	0.8	52
28.09.1976	12.5	R=13	8600—7000	—	52
15.10.1976	12.5	D=30	6700—5500	—	59
27.10.1976	12.5	R=4	5200—3800	0.86	60
2.11.1976	12.5	D=9	4686 HeII	—	60
5, 11, 12.04.1977	13.5	R=0.6	4800—4550	—	61
9, 10, 27.04.1977	13.5	D=80	5200—3600	0.4	62
7, 8.05.1978	13	D=20	8700—6800	—	63
15, 16.07.1978		D=13			
7.07.1978	12.5	D=65	5200—3600	0.67	64
30.07.1978	12.5	D=65	5200—3600	—	65
1978	H	R=8	8500—3600	—	66
14, 15.05.1979	12.5	R=0.4	4900—4300	0.75	49
06—07.1980	15	D=30, 70	6800—3900	0	67
18.07.1980	15	R=5	7300—4000	0	68
18—20.07.1980	15.3	R=10, 20	8200—3500	0	69
1.08.1980	14.9	R=2.3	5050—3980	0.07	70
23.08.1980	14.9	R=13	7700—4550	0.07	70
06—09.1980	15	R=4	5100—4200	0.04	55
		R=9—10	8500—5500		
28, 29.05.1981	12.7	R=2	5200—3500	0.55	71

показано изменение линий H_β и $HeII \lambda 4686 \text{ \AA}$, полученное автором в разные годы. Так как блеск системы во время наблюдений различался незначительно, то разнообразие кривых на рис. 6 указывает на различное количество светящегося в линиях вещества и различное его распределение внутри системы в разные годы, чего не может быть в потоке.

При переходе системы в низкое (L) состояние блеска вид спектра меняется. Вначале часто увеличивается асимметрия линий, они ослабевают и постепенно исчезают. Первыми исчезают линии высокого возбуждения, затем широкие основания, которые сменяются абсорбциями. В спектре остаются узкие слабые линии H на фоне широких абсорбционных и переменных профилей. У некоторых полярных постепенно исчезают все линии, но у АМ $HeII$ такого не наблюдалось ни разу. На рис. 7 показано изменение отношения интенсивностей линий $HeII \lambda 4686/H_\beta$ с изменением блеска системы. Это отношение является хорошей

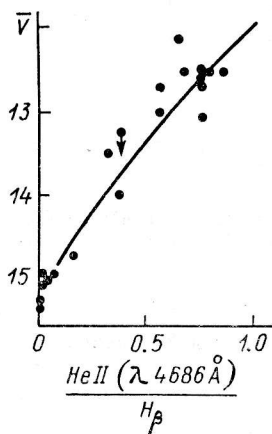


Рис. 7. Изменение уровня возбуждения линейчатого спектра АМ $HeII$ с изменением среднего блеска системы.

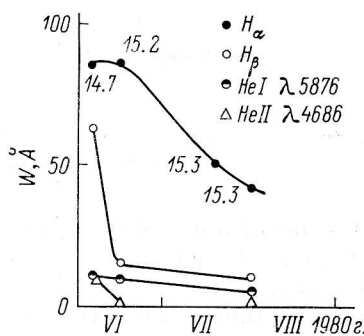


Рис. 8. Изменение эквивалентных ширин некоторых линий со временем в спектре АМ $HeII$ при переходе системы в низкое состояние.

Числа рядом с кривой для H_α указывают средний блеск системы в момент наблюдений.

характеристикой степени возбуждения спектра и наглядно демонстрирует быстрое понижение возбуждения спектра с уменьшением блеска системы. На рис. 8 показано изменение со временем эквивалентных ширин некоторых линий во время продолжительного L -состояния летом 1980 г. Из рисунка видно, что когда система перешла в L -состояние ($\bar{V}=14.7$), эквивалентные ширины линий высокого возбуждения (HeI и $HeII$) сильно уменьшились, а линий низкого возбуждения (H_α и H_β) оставались большими, как в H -состоянии. При дальнейшем понижении блеска до $\bar{V}=15.2$ эквивалентная ширина H_β быстро уменьшилась, а линии H_α практически не изменилась. В последующие полтора месяца эквивалентная ширина линии H_α медленно уменьшалась, что не было связано с изменением блеска системы, который практически не изменялся.

Бальмеровские декременты в H - и L -состояниях системы разные (рис. 9). В H -состоянии декременты пологие, иногда частично инверсные, что указывает на высокую электронную плотность в излучающей области и доминирование ударных механизмов возбуждения. В L -состоянии наблюдаются крутые декременты, типичные для среды с низкой плотностью и радиативным возбуждением атомов. Таким образом, мы должны предположить, что при переходе системы из H - в L -состояние либо меняются физические условия в среде, излучающей линии, либо в L -состоянии наблюдаются совсем другие области. Для ответа на этот вопрос обратимся к результатам измерения лучевых скоростей. На рис. 10 сопоставлены кривые лучевых скоростей АМ $HeII$, а в табл. 6 приводятся их характеристики, полученные разными авторами с 1976 по 1981 г.

При высоком блеске системы кривые лучевых скоростей по пикам линий, несмотря на некоторые различия в форме, амплитуде, γ -скорости, близки по фазам экстремумов. Только три кривые резко отличаются от остальных: у них гораздо меньше амплитуда и большой сдвиг по фазе относительно обычных кривых — почти $0.4P$. Они тождественны кривым по пикам при низком блеске си-

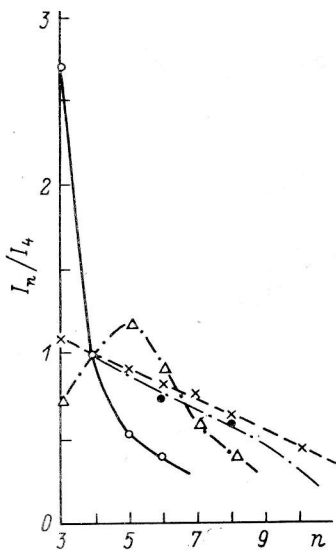


Рис. 9. Примеры бальмеровских декрементов AM Her.

стемы, которые в пределах ошибки все одинаковы. Возникает вопрос: одни ли и те же пики наблюдаются в разных состояниях блеска системы? Или, иначе, в одном и том же месте они излучаются или в разных? Судя по изменению амплитуды и фазировке кривых лучевых скоростей, более вероятно, что в разных. Некоторые авторы предлагают считать, что пики возникают в хромосфере вторичного компонента. Для H -состояния блеска с этим трудно согласиться. Во-первых, в этом случае кривые по пикам и основаниям должны быть почти в противофазе, чего не наблюдается. Во-вторых, вид бальмеровского декремента не согласуется с таким предположением. В-третьих, сдвиг и изменение кривых

ТАБЛИЦА 6

Параметры кривых лучевых скоростей AM Her

Дата наблюдений	V	Пики			Основания			Источники	Примечания		
		K, км/с	γ , км/с	φ_0	$\varphi_{\text{пик}}$	K, км/с	γ , км/с			φ_0	$\varphi_{\text{осн}}$
08.1976	12.8	250	0	0.36	0.55	370	0	0.26	0.52	59	IR наблюдения По абсорбциям в IR
09.1976	12.7	170	+60	0.41	0.56	280	-60	0.26	0.52	59	
04.1977	13.5	75	-30	0.62	0.92	320	-20	0.26	0.50	71	
04.1977	13.5	76	-30	0.63	0.92	309	-20	0.26	0.48	61	
05.07.1978	13.0	118	-8	0.67		285	-68	0.30		63	
07.1978	12.9	175	-10	0.63	0.59	230	-10	0.25	0.49	71	
05.1979	12.5	140	-10	0.38	0.94	147	-8	0.32	0.53	49	
06.1980	14.7	77	-21	0.66	0.85					71	
06—07.1980	15.2	80	-10	0.60	0.86					67	
	15.2	70	-2	0.20	0.47:					67	
07.1980	15.0	137	-12	0.59	0.89					68	
08.1980	14.9	80	-20	0.61	0.83					70	
6—7.09.1980	15.0	100	-57	0.61	0.92					55	
05.1981	13.3	225:	-85:	0.35:	0.58	350	-30	0.20:	0.50	71	

Примечание. φ_0 — фаза пересечения линии средней скорости при переходе от отрицательных скоростей к положительным; $\varphi_{\text{пик}}$ — фаза максимума положительной скорости; : — неуверенное измерение.

наблюдаются не только в L -, но и в H -состоянии тоже, когда нет надежды увидеть излучение вторичного компонента в видимой области спектра. Что касается L -состояния, то такую возможность исключить нельзя.

Летом 1978 г. Юнг и Шнайдер [63] получили кривые лучевых скоростей по линиям инфракрасной области спектра, в том числе по абсорбционному дублету $\text{NaI } \lambda 8183 \text{ и } 8194 \text{ \AA}$. Блеск системы во время их наблюдений был близок к H -состоянию. Как абсорбционные линии, так и пики эмиссионных линий дали смещение кривых лучевых скоростей, но их амплитуды были больше, а γ -скорости меньше, чем у смещенных кривых в оптическом диапазоне (табл. 6). Кри-

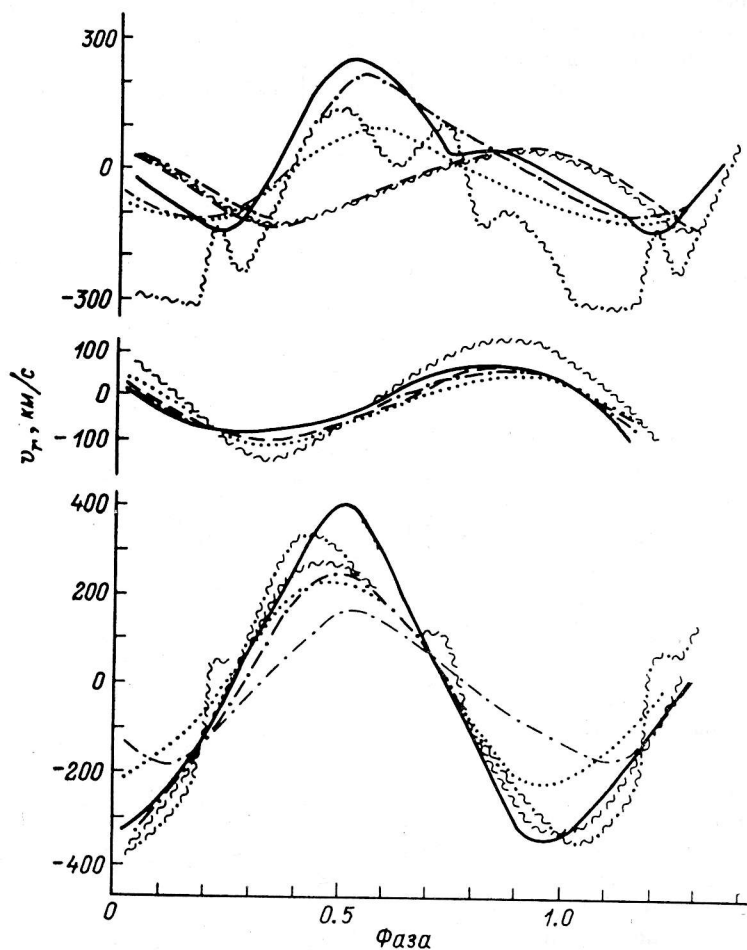


Рис. 10. Кривые лучевых скоростей AM Her.

Вверху — по пикам линий в H -состоянии системы; в середине — по пикам линий в L -состоянии систем; внизу — по широким основаниям линий.

вые по основаниям инфракрасных (ИК) линий были обычными. Если считать вслед за авторами, что абсорбционные линии NaI являются линиями вторичного компонента, то результат [63] означает, что пики ИК-линий и, вероятно, пики оптических линий в L -состоянии возникают или в атмосфере вторичного компонента, или где-то вблизи него.

Во время продолжительного L -состояния летом 1980 г. Хатчингс и др. [67] обнаружили в оптическом спектре AM Her слабые абсорбционные линии, которые они посчитали линиями вторичного компонента. Кривая лучевых скоростей по этим линиям оказалась смещенной на $0.4P$ относительно кривой по пикам эмиссионных линий. Последняя была типична для L -состояния и показана на рис. 10. Результаты по измерению абсорбционных линий противоречат друг

другу и показывают, что абсорбционные линии могут возникать не только во вторичном компоненте.

В мае 1981 г. Войханская [71] получила кривые лучевых скоростей по измерениям в оптическом диапазоне. Блеск системы в это время был близок к H и продолжал возрастать после продолжительного L -состояния в 1980 г., но не достиг еще максимума яркости. Кривые по пикам, полученные ею, настолько сильно искажены, что только в общих чертах напоминали синусоиду. Кривые по основаниям линий тоже были искажены, но в гораздо меньшей степени. Кривые из [71] показаны на рис. 10, а кривая по пикам H_α и H_β показана отдельно на рис. 11. Из него следует, что примерно половину периода скорость постоянна. Это возможно, если в системе существует достаточно удаленное от обоих компонентов вещество, которое не участвует в орбитальном движении. То есть мы приходим к выводу о существовании в системе образования типа околозвездной оболочки (ОЗО), которая окружает оба компонента. О возможной структуре такой оболочки речь пойдет в другом месте. Пока же отметим, что в такой оболочке могут возникать абсорбционные линии, она может быть ответственна за медленное изменение интенсивностей линий низкого возбуждения на рис. 8. Где-то в ней могут возникать узкие эмиссионные пики, наблюдаемые в L -состоянии, наконец, бальмеровский декремент в L -состоянии подтверждает существование разреженной газовой среды. ОЗО может возникнуть и поддерживаться только за счет выброса вещества из системы, поэтому она должна существовать при любом блеске системы, но в L -состоянии ее легче заметить. Во время возрастания блеска, по-видимому, возрастает темп переноса массы, а следовательно, ее выброса, что проявляется в лучевых скоростях. Именно во время подъема блеска в апреле 1977 г. наблюдались сложные многокомпонентные профили, которые позднее исчезли [62].

Ультрафиолетовый участок спектра AM Her изучен еще недостаточно. При H -блеске там наблюдаются эмиссионные линии SiII—IV, NV, OI—III, SiIII—IV, HeII, AlIII, MgII. Наиболее сильной является линия SiIV $\lambda 1550 \text{ \AA}$. Это типичный для всех полярных ультрафиолетовый (УФ) спектр. Интенсивность линий меняется со временем, но данных об этом пока мало. Изменение в течение периода приводится в [33]. В интервале фаз от 0.35 до 0.6 линии не меняются, а в интервале 0.8—0.9 наблюдается максимум интенсивности, она увеличивается примерно вдвое. Близкие по времени наблюдения [64] показали иное изменение эмиссионных линий в оптике (рис. 6). При переходе системы в L -состояние линии ослабевают. Остаются хорошо заметны лишь слабые линии SiIV $\lambda 1550$ и MgII $\lambda 2800 \text{ \AA}$ [9].

Предварительные выводы. Результаты спектральных наблюдений привели к заключению о существовании ОЗО, хорошо видимой при низком блеске системы. Очень переменное и не повторяющееся год от года изменение интенсивностей линий с фазой орбитального периода указывает на то, что распределение, а возможно, и количество излучающего в линиях вещества меняются в объеме системы.

Из всех кривых блеска наиболее нестабильны кривые в мягком рентгене. Так как мягкий рентген поглощается веществом, заполняющим объем двойной системы, то было бы интересно сравнить кривые блеска в линиях и в рентгене. Пока такого сравнения сделать нельзя из-за недостатка данных.

Переменность кривых круговой поляризации отчасти может быть связана с перераспределением вещества, заполняющего объем системы. Особенно переменна поляризация в области фазы главного оптического минимума. Однако в некоторых случаях изменения круговой поляризации таковы, что дают ос-

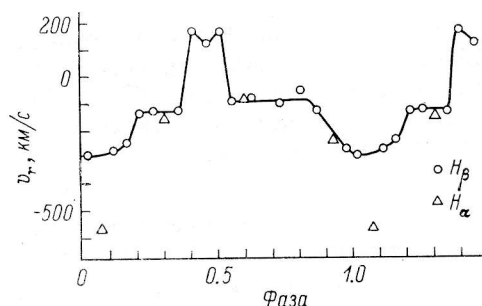


Рис. 11. Кривая лучевых скоростей AM Her по пикам линий, наблюдавшаяся в мае 1981 г.

нования предполагать смещение магнитного полюса относительно линии зрения. Подобные изменения круговой поляризации сопровождаются большим уменьшением амплитуды кривой лучевой скорости по пикам линий [71].

Первые наблюдения Ташиа [4] дали четкую кривую линейной поляризации с пиком 6 %. После того как спустя несколько месяцев наблюдалось удивительное смещение и уширение пика [44], сопровождавшееся полным изменением рентгеновских кривых блеска [25], никто не наблюдал такой большой величины линейной поляризации. Она редко достигала 2 %, причем иногда пик был раздвоен. Трудно пока сказать, с чем связано такое изменение линейной поляризации, так же как появление обращенных кривых блеска в мягком рентгене. Возможно, что тут проявляется какой-то долговременный периодический процесс. Реальность такого предположения подтверждается существованием циклических изменений остатков (O—C) с характерным временем около трех лет [72, 73].

AN UMa

Первоначально AN UMa относили к переменным типа RR Луг. Шугаров [74] доказал ее двойственность и определил величину периода. Как поляр она была открыта в феврале 1977 г. Краеминским и Серковским [75], обнаружившими поляризацию ее оптического излучения, которая менялась с периодом, равным орбитальному.

ТАБЛИЦА 7
Фотометрические наблюдения AN UMa

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
1975	14 ^m 1	B	74
16—26.11.1975	14—14.5	0.1—0.4 кэВ	79
29.01.1976	15.5	B	80
01.1976—02.1980	15.2—16.2	UBV	81
15—18.02.1977	16.5	UBV	75
17, 18, 21.02.1977	16.5	B	80
23.03.1977	16—16.5	UBV	75
05.1977—05.1978	16—16.5	б/ф	82
1—4.01.1978	17.2	B	83
6, 9.12.1978	15.5	UBVRI	84
31.01.1979	15.5	BVI	84
27, 28.02.1979	19—20	3300—5500, I	78
1.03.1979	19—20	I	78
23, 25.04.1979	16.5—17	I	78
17, 21, 30.05.1979	16.5	UBV	85
20, 21.11.1979	16.5	UBV	85
12.12.1979	16.2	} UBVRI	84
8.02.1980	15.7		
11.04.1980	16.5—17	3300—5500	78
31.03.1984	14—14.5	Soft X-ray	86
20.02.1985	} 16	б/ф BR	87
14, 15.04.1985			
17, 18.05.1985			

Долговременные изменения блеска изучались в [76, 77]. Установлено, что средний блеск системы изменяется случайным образом в пределах от 14^m5 до 17^m5. Большую часть времени она пребывает на уровне 16^m5—17^m. Либерт и др. [78] зарегистрировали в 1979 г. понижение блеска AN UMa до ~20^m.

Сводка фотометрических наблюдений AN UMa приведена в табл. 7. В нее не включены единичные измерения блеска. На рис. 12 и 13 показаны примеры орбитальных кривых блеска и поляризации. Кривые в мягком рентгеновском диапазоне, полученные в разные годы, заметно различаются. В 1975 г. кривая имеет синусоидальную форму с небольшим максимумом около $\varphi \approx 0.7$ [79].

В 1984 г. она выглядит иначе: в течение периода наблюдаются два максимума, широкий на $\varphi=0.2$ и узкий на $\varphi=0.75$. Второй максимум прорезан глубоким и узким затмением на $\varphi=0.7$ [86]. В обоих случаях система была в ярком состоянии блеска. U - и V -кривые имеют почти синусоидальную форму с минимумом на $\varphi \approx 0.5$ и максимумом на $\varphi \approx 0.0$. Их полуамплитуды $\sim 0^m8$, а глубина минимума меняется на 0^m2-0^m3 . Значительных искажений формы U - и V -кривых не наблюдалось, хотя положение экстремумов может смещаться на $\pm 0.2P$. Наоборот, форма V -кривой очень переменна, что можно видеть на рис. 12 и 13. Иногда ее амплитуда уменьшается до 0^m1-0^m2 , а еще чаще ее форма сильно искажена в области фаз $0.3-0.8$, по-видимому, каким-то дополнительным излучением. В этой области фаз часто появляются узкие глубокие мини-

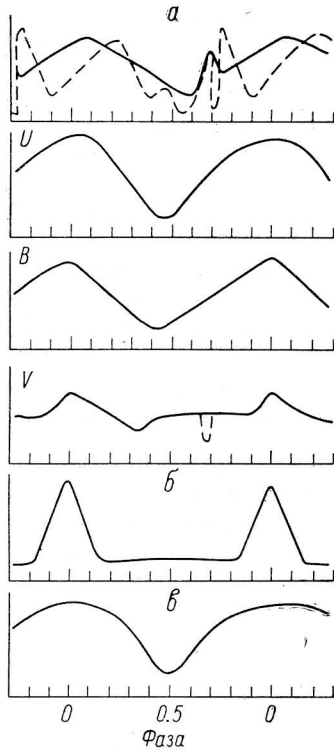


Рис. 12. Кривые блеска и поляризации AN UMa.

мумов не наблюдалось, хотя положение экстремумов может смещаться на $\pm 0.2P$. Наоборот, форма V -кривой очень переменна, что можно видеть на рис. 12 и 13. Иногда ее амплитуда уменьшается до 0^m1-0^m2 , а еще чаще ее форма сильно искажена в области фаз $0.3-0.8$, по-видимому, каким-то дополнительным излучением. В этой области фаз часто появляются узкие глубокие мини-

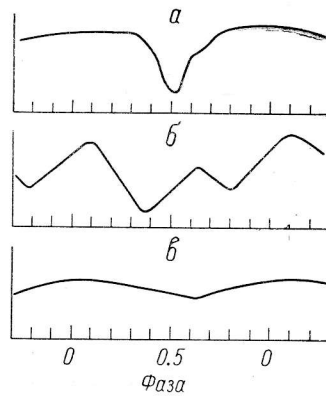


Рис. 13. Примеры изменения формы V -кривой у AN UMa.

мумы, которые имеют еще большую глубину на кривых в полосах R и I . UBV -кривые на рис. 12 взяты из [85]. В полосах R и I периодических изменений блеска не наблюдается. При понижении блеска системы почти до 20^m форма кривой блеска не изменилась и была похожа на кривую на рис. 13, б.

У AN UMa обнаружена кроме обычного фликкеринга уникальная переменность блеска в интервале $0.4-0.8$ Гц [88]. Ее амплитуда составляет 2.4% от среднего уровня блеска. В указанном интервале частот наблюдались два

ТАБЛИЦА 8
Наблюдения поляризации AN UMa

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
Линейная поляризация				
15—18.02.1977	16^m5	UB	75	9 в B , 7 в U
28.03.1977	16—16.5	UB	75	9 в B , 7 в U
05.1977—05.1978	16—16.5	B/ϕ	82	8—12
1—4.01.1978	17.2	B	83	9
Круговая поляризация				
18, 19.02.1977	16.5	UBV	75	До -35 в B ; -25 в V ; -12 в U
28.02, 1.03.1979	19—20	I	78	До -35
23, 25.04.1979	16.5—17	I	78	До -17
16, 17.01.1982	17.5	4250—6650	89	$-29-7$ } Пределы
20—22.03.1982	18.6	4250—6650	89	$-22-10$ } изменения

максимума с периодом 1.75 и 1.38 с, что на порядок меньше периодов быстрой переменности катаклизмических переменных. Более подробно эта секундная периодичность исследована в [87]. На спектре мощности обнаружен широкий максимум в интервале 0.4—1 Гц, который наблюдался во всех фазах периода. Показано, что он представляет собой суперпозицию многих низкокогерентных периодичностей. Амплитуда максимума переменна (2.6—5.6 %), иногда он исчезает, хотя средний блеск системы не менялся.

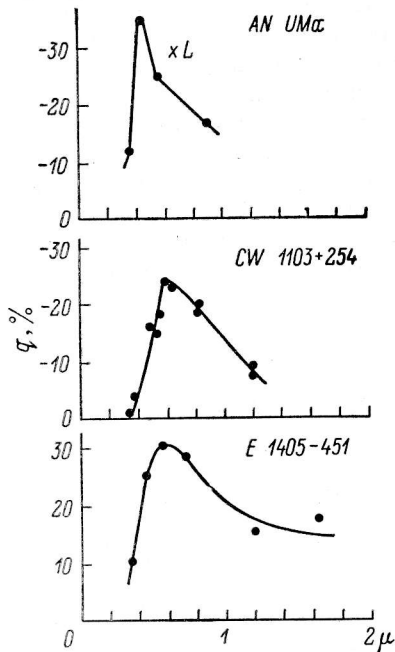


Рис. 14. Изменение максимальной круговой поляризации с длиной волны у нескольких полярнов.

Для AN UMa знак (x) обозначает величину поляризации в L-состоянии.

Сведения о поляризационных наблюдениях собраны в табл. 8, а кривые поляризации показаны на рис. 12. Линейная поляризация (рис. 12, б) имеет резкий и широкий пик в момент максимума на кривых блеска. Высота пика ~10 %, а ширина ~0.2P. Вне пиков поляризация составляет 1—2 %. Иногда появляются вторичные пики до 4—5 % [82]. Круговая поляризация в течение всего периода отрицательна. Она достигает максимальной величины на $\varphi=0.5$, т. е. в момент минимума на кривых блеска. В максимуме блеска на $\varphi=0.0$ круговая поляризация минимальна, а иногда равна нулю. При понижении блеска системы до ~20^m в 1979 г. кривая круговой поляризации не изменилась, но амплитуда ее возросла вдвое. Изменение максимальной круговой поляризации с длиной волны показано на рис. 14. Она быстро уменьшается в сторону коротких длин волн и плавно — в сторону длинных. Максимум поляризации расположен около λ 4500 Å.

Сведения о спектральных наблюдениях собраны в табл. 9. В конце 1979 г. в [91] наблюдали спектр, типичный для полярнов, в котором присутствовали сильные линии H, HeI и II, CaII λ 3933 Å и бленда λ 4640 Å. Профили линий были асимметричны, величина и знак асимметрии менялись в течение периода. Спустя два года, в 1981 г., в спектре дополнительно появились многочисленные слабые эмиссионные линии OII, NIII, FeII, TiII, CrII. В 1983 г. слабые эмиссии усилились и появились слабые абсорбционные линии [92]. На рис. 15 показан средний спектр AN UMa в 1983 г. При суммировании отдельных спектров асимметрия линий стала незаметной. Сравнение результатов [91 и 92] показывает, что вид спектра и его возбуждение меняются со временем. В 1979 г. блеск AN UMa понизился до 19—20^m и ее спектр сильно изменился [78]. Континуум стал

линии H, HeI и II, CaII λ 3933 Å и бленда λ 4640 Å. Профили линий были асимметричны, величина и знак асимметрии менялись в течение периода. Спустя два года, в 1981 г., в спектре дополнительно появились многочисленные слабые эмиссионные линии OII, NIII, FeII, TiII, CrII. В 1983 г. слабые эмиссии усилились и появились слабые абсорбционные линии [92]. На рис. 15 показан средний спектр AN UMa в 1983 г. При суммировании отдельных спектров асимметрия линий стала незаметной. Сравнение результатов [91 и 92] показывает, что вид спектра и его возбуждение меняются со временем. В 1979 г. блеск AN UMa понизился до 19—20^m и ее спектр сильно изменился [78]. Континуум стал

ТАБЛИЦА 9

Спектральные наблюдения AN UMa

Дата наблюдений	Блеск V	D, Å/мм; R, Å	Область спектра	$\frac{\text{HeII}}{\text{H}\beta}$	Источник
31.03.1974	15 ^m	D=238	3200—6500	—	57
28.02.1977	16.5:				90
1978 или ранее	16—17:	R=8	3600—8500	—	66
26, 27.02.1979	19	R=15	4100—7700	—	78
10, 11.12.1979	16.2	R=2.4	4250—4940	0.75	91
1.01.1981	16.5	R=2÷4	3500—5200	0.9	92
29, 30.05.1981	17.5	R=3	3500—5200	1.2	92
17, 18.05.1983	16.5	R=6	1200—1950	—	93
14.02.1987					

очень красным, исчезли все линии, кроме очень слабой H_{α} , появились две широкие эмиссионные детали $\lambda 4880$ и 5850 \AA , которые не удалось отождествить. Несмотря на сильное покраснение системы, в ее спектре отсутствовали признаки вторичного компонента. Они не были найдены также ранее при более высоком блеске системы [66]. Краткие сведения об ультрафиолетовом спектре AN UMa приводятся в [93], там присутствуют слабые и переменные эмиссионные линии CIV и HeII.

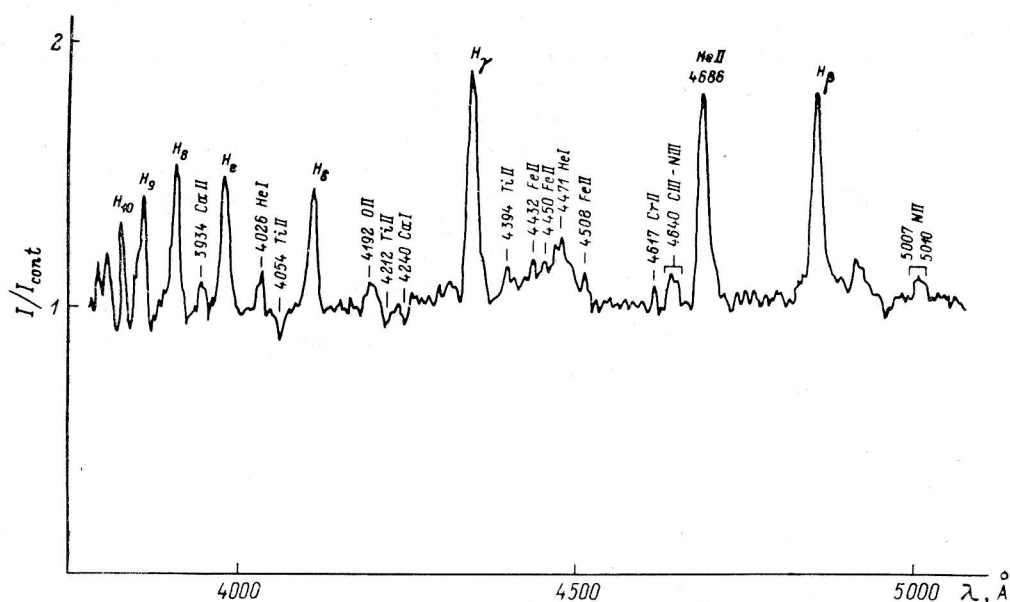


Рис. 15. Спектр AN UMa.

Изменение эквивалентных ширин и интенсивностей линий в течение орбитального периода различно в разные годы. На рис. 16 показано изменение линий HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ и H_{β} в 1981 и 1983 гг. Блеск системы за это время изменился не менее чем на 1^m . Одновременно сильно изменились балмеровские декременты (рис. 17), что указывает на значительные изменения физических условий в области излучения линий.

Результаты измерения лучевых скоростей приводятся в табл. 10. Из нее видно, что кривые лучевых скоростей как пиков, так и оснований линий меняются по амплитуде, γ -скорости и положению экстремумов. Это значит, что кривые лучевых скоростей отражают не только орбитальное движение компонен-

ТАБЛИЦА 10
Параметры кривых лучевых скоростей

Год наблюдения	Источник	K, км/с	γ , км/с	φ_{\min}	φ_{\max}	φ_0
П и к и						
1977	90	300	—	0.25	0.75	0.50
1979	91	270	-40	0.13	0.63	0.38
1981	92	350	-30	0.00	0.54	0.29
1983	92	370	+60	0.00	0.54	0.25
О с н о в а н и я						
1979	91	320	+40	0.99	0.49	0.24
1981	92	600	+50	0.00	0.54	0.30
1983	92	390	+220	0.85	0.30	0.08

тов, но и какие-то дополнительные движения в областях, излучающих линии. Войханская [92] отметила искажение кривых лучевых скоростей по пикам линий. В 1981 г. искажение было невелико, а в 1983 г. настолько сильно, что кривые по первым бальмеровским линиям H_α и H_β даже отдаленно не напоминают синусоиды. Аналогичная ситуация описывалась выше для АМ Нег. Величина искажения убывает с увеличением номера линии (рис. 18). Кривые по основаниям линий бывают искажены редко и в гораздо меньшей степени. Чтобы исказить кривую лучевой скорости, в системе должен существовать достаточно большой поток вещества, светящегося в линиях и имеющего вектор скорости, не совпадающей со скоростью основного потока или орбитальной скоростью.

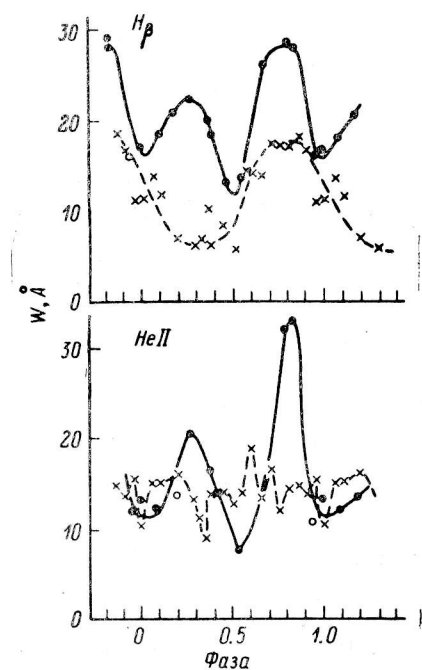


Рис. 16. Изменение эквивалентных ширины линий H_β и $He II \lambda 4686 \text{ \AA}$ в течение орбитального периода AN UMa в 1981 г. (сплошная линия) и в 1983 г. (штриховая линия).

Слабые абсорбционные линии, наблюдавшиеся в 1983 г., не меняли своего положения и измеренная по ним скорость была постоянна в течение периода. Следовательно, они не могут быть линиями вторичного компонента. В 1983 г. на профилях линий был замечен слабый дополнительный пик, кроме главного. Кривая лучевой скорости этого пика имела амплитуду примерно вдвое большую, чем по основному пику и была смещена на $0.25P$.

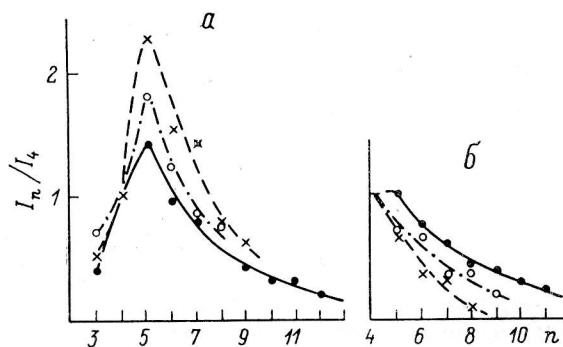


Рис. 17. Примеры бальмеровских декрементов AN UMa в 1981 г. (б) и 1983 г. (а).

Снова, как в случае АМ Нег, вся совокупность фактов (изменение со временем кривых блеска и вида спектра, бальмеровского декремента, интенсивностей линий в течение периода, переменное искажение кривых лучевых скоростей, неподвижные абсорбционные линии и движущиеся с большой скоростью дополнительные пики) приводит нас к заключению о существовании в системе AN UMa околозвездного вещества (ОЗВ) типа неоднородной оболочки.

Кривые лучевых скоростей пиков и оснований сдвигаются по фазе, но это происходит неравномерно и неодновременно. На рис. 19 схематически показаны кривые лучевых скоростей без учета искажений. Видно, что у кривых по основаниям с 1979 по 1981 г. положение экстремумов не менялось, а с 1981 по 1983 г. сместилось на $0.15P$. Кривая по пикам, наоборот, с 1977 по 1981 г. сместилась примерно на $0.2-0.25P$, а с 1981 по 1983 г. не меняла своего положения. Рис. 19, а указывает на возможное существование дополнительного периодического движения с периодом около 16 лет.

Результаты спектральных наблюдений привели к заключению о существовании в системе ОЗВ, как в случае АМ Нег. Однако в отличие от АМ Нег проявления этого вещества более сильные. Например, многочисленные слабые эмиссионные линии, дополнительные компоненты на основных линиях, сильней-

шие искажения кривых лучевых скоростей. В пользу более массивной и/или более плотной оболочки говорит нестабильность кривых блеска в оптике, начиная с V-кривых. По-видимому, оболочка может излучать и поглощать не только в линиях, но и в континууме.

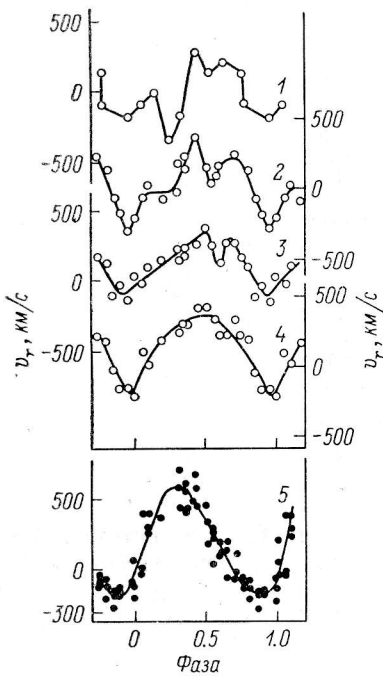


Рис. 18. Кривые лучевых скоростей AN UMa.

По пикам линий H_α (1), H_β (2), H_γ (3), He II (4) и по основаниям линий (5).

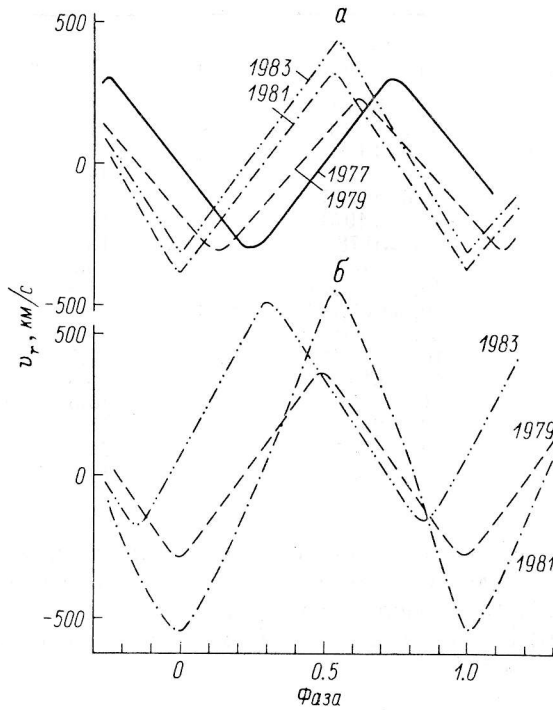


Рис. 19. Схематическое представление кривых лучевых скоростей AN UMa в разные годы.

a — по пикам линий, б — по основаниям.

VV Puppis

Как поляр VV Pup была открыта в начале 1977 г. Тапия [94], наблюдавшим значительную величину линейной и круговой поляризации ее оптического излучения, которая менялась с периодом, равным орбитальному. Это была третья открытая система типа AM Her. Для нее принято использовать фотометрические, а не поляризационные фазы, фаза $\varphi=0.0$ соответствует максимуму блеска.

VV Pup имеет два основных состояния блеска: высокое $\bar{V}_{\min}=14^m$ и низкое $\bar{V}_{\min}=18^m$. В этих пределах происходит долговременное изменение блеска на шкале времени — месяцы и годы. Но переход из одного состояния в другое может произойти быстро, в течение нескольких суток и даже минут [95].

Сводка фотометрических наблюдений приведена в табл. 11, а примеры кривых блеска на рис. 20. Примерно 60 % периода система находится в минимуме блеска и 40 % длится яркая фаза. В это время на кривой блеска наблюдается горб амплитудой 1^m-2^m . Амплитуда горба наибольшая в V и уменьшается в обе стороны длин волн. Продолжительность яркой фазы меняется незначительно, а амплитуда и форма горба очень переменны [96]. В ближайшей ИК-области (полосы J, H, K) кривые блеска, вероятно, переменны. По наблюдениям [102], они имеют форму синусоиды со средней амплитудой $\sim 0^m.3$, а в [103] получили кривые обычной формы с горбом амплитудой $\sim 0^m.4$ и центром на фазе 0.0.

Во время яркой фазы наблюдается сильный фликкеринг с амплитудой, достигающей до 50 % амплитуды яркой фазы. Вне ее фликкеринг слабый и малой амплитуды.

ТАБЛИЦА 11
Фотометрические наблюдения VV Pup

Дата наблюдений	Блеск V min	Полоса регистрации	Источник
5.11.1970 20, 25, 28.01.1971 } 23, 24.03.1977 3, 15.04.1977 13.04.1977 20.06.1977 5, 6.11.1977 01—02.1978 27.02.1978 4.03.1978 15, 16.03.1978 10, 11.05.1978 25.04—5.05.1979 10, 11.11.1979 15, 16.12.1979 31.12.1979 2.04.1980 20.04.1980 27.04.1980	16 ^m 4 17.5 17.5 17 14 18 17.9 18 15.5 14.8 18 L 15.5 15.5 15.5 17 H 14.5	б/ф б/ф б/ф б/ф V б/ф VJHK V V JK 0.5—4.5 кэВ JK UBVR JHK J 0.1—0.8 кэВ J	96 97 98 99 95 100 101 47 98 101 47 104 102 102 102 103 104 103

Все вышесказанное относится к высокому состоянию блеска системы. В низком состоянии амплитуда горба уменьшается и он может исчезнуть совсем [100, 105]. В ИК-области кривая блеска приобретает форму синусоиды амплитудой $\sim 0^m.4$ с двумя неравными максимумами на фазах 0.85 и 0.3 и минимумами на 0.05 и 0.55 [103].

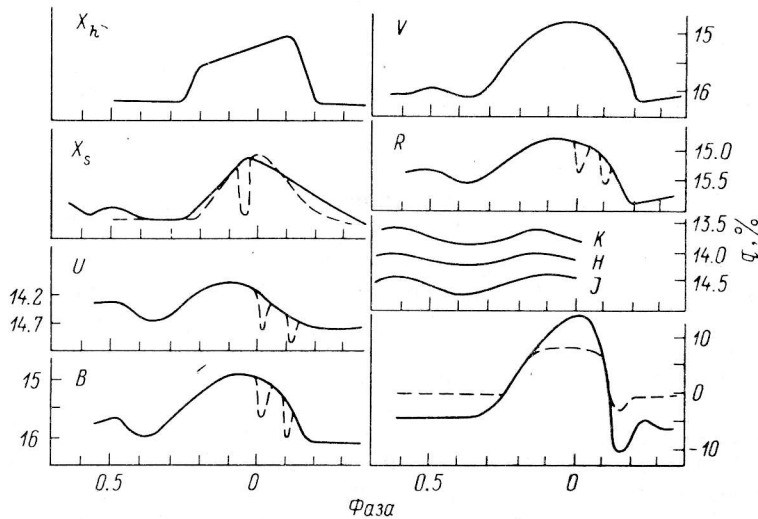


Рис. 20. Кривые блеска и круговой поляризации VV Pup.

VV Pup является довольно интенсивным источником мягкого рентгеновского излучения. Рентгеновские кривые блеска похожи на оптическую кривую [104], и их форма немного меняется (рис. 20). Во время яркой фазы наблюдаются сильный фликкеринг на шкале времени (порядка 200 с) и отдельные дипы, которым соответствуют дыны на оптической кривой блеска. Один из сетов наблюдений [106] совпал с наблюдениями EXO SAT. Оказалось, что вспышки в мягком рентгене и оптике высоко коррелированы: из 11 сильных вспышек в оптике все 11 имели аналог сильной вспышки в рентгене, причем не наблюдалось задержки между рентгеном и оптикой.

ТАБЛИЦА 12
Наблюдения поляризации VV Pup

Дата наблюдений	Блеск V_{min}	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
Линейная поляризация				
03.1977	L	δ/ϕ	94	Пик поляризации
5, 6.11.1977	≤ 18	δ/ϕ	100	Пик 9.3
6—12.04.1983	H	3500—9200 Å	106	Пик 9—10 Два пика по краям яркой фазы, наибольшая амплитуда в B (7 и 22)
1—6.02.1984	H			
13, 14.02.1985	L			
01.1986	H	UBVRI	107	Два пика: 7 и 22 в начале и конце яркой фазы
Круговая поляризация				
03.1977		δ/ϕ	94	+16
6.12.1977	17.5	3200—8600	97	От -2 до +8
4.03, 5.05.1978	15.5	3200—5500	100	» -5 » +15
		5600—8600		» -2 » +7
		4250—6650	89	» -3 » +6÷7
16, 17.01, 20—22.03.1982	15.5			
6—18.04.1983	H			
1—6.02.1984	H	3500—9200	106	» -3 » +10
13, 14.02.1985	L			
01.1986	H	UBVRI	107	» -5 до -10

Результаты поляризационных измерений приведены в табл. 12, а кривая круговой поляризации — на рис. 20. В высоком состоянии блеска системы круговая поляризация достигает максимума +16—18 % во время яркой фазы, а вне ее составляет около -5 %. В низком состоянии системы поляризация уменьшается до +7—8 % в максимуме и остальное время равна нулю. При любом блеске системы сразу после окончания яркой фазы наблюдается кратковременное изменение поляризации, во время которого она может достигать -7—10 % [106]. Пик линейной поляризации амплитудой 9—10 %, широкий и асимметричный, наблюдается во время смены знака круговой поляризации на фазе 0.1—0.15. Вне пика линейная поляризация ~2 %. В [107] наблюдали два пика линейной поляризации: в начале и конце яркой фазы. Амплитуда первого равнялась 22, а второго 7 % в B . Во время низкого состояния блеска системы кроме обычного пика амплитудой 9 % наблюдался еще пик на $\varphi=0.73$ амплитудой ~6 % и слабый пик на $\varphi=0.53$ [100]. Возможно, что слабые пики линейной поляризации на этих фазах наблюдались также в [106]. Либерт и Стокман [108] показали, что поляризационное излучение VV Pup является голубым, что было позже подтверждено в [107].

Спектрополяриметрические наблюдения [109] в апреле 1980 г. при высоком блеске системы показали, что в оптической области спектра (3900—6200 Å) изменение круговой поляризации с длиной волны происходит сложным образом. Наблюдаются экстремумы поляризации, которые не совпадают с широкими абсорбционными деталями — предполагаемыми циклотронными абсорбциями [110]. Средняя по спектру величина поляризации была равна +4—5 % и соответствовала ожидаемой величине.

Сведения о спектральных наблюдениях приведены в табл. 13. В высоком состоянии блеска в спектре присутствуют обычные эмиссионные линии, типичные для полярнов. С понижением блеска интенсивность линий уменьшается, постепенно они пропадают и спектр становится чисто непрерывным. Континуум, который был голубым при высоком блеске, при низком стал красным и соответствовал температуре ~9000 К [97]. Слабые депрессии континуума $\lambda 7300, 6300$ и 5900 Å авторы [97] считают полосами TiO спектра вторичного компонента. В низком состоянии блеска системы эти же авторы наблюдали внезапные и большие изменения интенсивностей эмиссионных линий, которые не сопровож-

ТАБЛИЦА 13
Спектральные наблюдения VV Pup

Дата наблюдений	Блеск V_{\min}	D , Å/мм, R , Å	Область спектра	$\frac{\text{He II}}{\text{H}\beta}$	Источник
Конец 1958	15 ^m 5	$D=430$	3700—4870	—	111
23.03.1977	17.5	$R=15$	3500—7000	0.5	97
24.03.1977	17.5	$R=6$	4000—5200	0.4	97
12.04.1977	17.8	$R=70$	3400—8200	0	97
13.04.1977	17.8	$R=10$	3300—6800	0	97
15.04.1977	17.5			—	99
10.11.1977	17			—	97
4.12.1977	17	$R=8$	3700—7500	—	97
01—02.1978	17.9			—	101
15, 16.03.1978	14.8			≥ 1	101
2.02.1979	17.5	$R=10 \div 15$	3600—6600	—	114
10, 11.12.1979	16	$D=73$	4250—4940	0.9	91
30.06, 2.10.1980	H	$R=6$	1100—1900	—	104
2, 3.03.1981	15.5	$D=46$	3700—5000	1	113

дались одновременным изменением континуума. Последнее наступало примерно на треть периода позже.

В феврале 1979 г., когда система была в низком состоянии блеска, Викрамсинг и Висванатан [110] обнаружили в спектре мелкие и широкие абсорбционные полосы $\lambda 4100$ — 4600 , 4600 — 5400 , 5400 — 6200 Å, которые они интерпретировали как 6-ю, 7-ю и 8-ю циклотронные гармоники в поле $3 \cdot 10^7$ Гс. Об этих широких абсорбциях речь пойдет ниже. Двумя годами ранее, в апреле 1977 г, также в низком состоянии блеска в спектре VV Pup была зарегистрирована эмиссионная линия $\lambda 3470$ Å [97]. Другие эмиссионные линии в это время в спектре отсутствовали. Митрофанов [115] интерпретировал линию $\lambda 3470$ Å как электронную циклотронную линию в поле $3 \cdot 10^8$ Гс.

ТАБЛИЦА 14
Параметры кривых лучевых скоростей VV Pup

Год наблюдения	Источник	K , км/с	γ , км/с	φ_{\max}	φ_{\min}	φ_0
П и к и						
1958	111	460	+90	0.0	0.5	0.82
1979	112	340	-110	0.15	0.75	0.93
1979	91	440	+20	0.0	0.5	0.87
1981	113	450	+30	0.1	0.6	0.87
О с н о в а н и я						
1979	91	490	+60	0.0	0.5	0.72
1981	113	620	+180	0.0	0.5	0.8

Кривые лучевых скоростей VV Pup измерялись в [91, 111—113]. Их характеристики собраны в табл. 14. Видно, что амплитуда, γ скорость и положение экстремумов кривых меняются, но в небольших пределах, и какой-либо закономерности в этих их изменениях не найдено. В [113] наблюдали сложные и быстро меняющиеся профили линий. Отдельные компоненты имели скорости до 1000 км/с. Наиболее заметно это проявилось в раздвоении основного пика в области фаз 0.3—0.7. В [91] также наблюдалось раздвоение линий, но во время яркой фазы кривой блеска $\varphi=0.9 \div 1.0$.

УФ-область спектра наблюдалась в высоком состоянии блеска в [104]. В спектре обычные для полярных линии высоковозбужденных элементов: C II—IV; Si III—IV; NV; He II, A III. Линии сильны во время яркой фазы, а вне ее ослабевают и остаются видны только самые сильные линии.

Имеющиеся наблюдательные данные не позволяют сделать однозначного заключения о существовании околозвездной оболочки (ОЗО), подобно двум предыдущим полярам. Можно только утверждать, что структура области, в которой формируются эмиссионные линии, переменна: меняются области фаз раздвоения линий, наблюдаются дополнительные пики с различными скоростями, что характерно для оболочки.

2A 0311—227 (EF Eri)

Как поляр эта система была открыта Тапия [116], обнаружившим значительную поляризацию ее оптического излучения, которая менялась с периодом, равным орбитальному. Средний блеск системы $V \approx 16^m \pm 0.5$, но на долговременной кривой блеска отмечались понижения блеска до $\sim 18^m$ и повышения до $\sim 15^m$ [117]. Почти все имеющиеся наблюдения относятся к яркому (H) состоянию.

ТАБЛИЦА 15
Фотометрические наблюдения EF Eri

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
22.12.1975—2.01.1976		0.15—0.28 кэВ	118
24—30.01.1978	15 ^m 5	0.2—2.5 кэВ	119
19.07.1978		2—60 кэВ	120
17—20.02.1979	14.5	VB	121
23, 26.02.1979	14.5	3200—5500	122
11, 12, 27.03.1979		J, H_{α}	123
8, 14.04.1979		J	123
27.06—2.07.1979	14.5	V	124
15.07.1979		0.5—20 кэВ	120
18.07.1979	15—15.5	H_{α}	123
29, 30.07.1979	15—15.5	1—20 кэВ	125
14—16.09.1979		4000—8500	126
7.10.1979		3000—5000	123
24, 25, 27.10.1979	15.3	b/ϕ	127
10, 11.11.1979		$UBVJK$	128
11—13.12.1979	14.4	UBV	129
17—29.12.1979	14.5	$UBVRJHK$	130
8—23.08.1980	14.2	VRI	131
11.1980	14.4	BV	132
29.11.1983		0.04—10 кэВ; V	133
15—21.11.1984	14.4	$UBVRI$	134

Сведения о фотометрических наблюдениях собраны в табл. 15, а кривые блеска показаны на рис. 21. На нем хорошо видно постепенное изменение формы кривых блеска, в результате чего синие и ИК-кривые находятся в противофазе. Кривые U и B представляют собой синусоиды с минимумом в области фаз 0.5—0.6 и максимумом $\varphi=0.0$. Амплитуды кривых невелики, ~ 0.4 в U и ~ 0.6 — 0.7 в B , и переменны. На B -кривой иногда наблюдаются дополнительные детали: слабый вторичный максимум на $\varphi=0.6$ [121, 128] и дип на $\varphi=0.0$ [121, 129]. Начиная с V -полосы и в длинноволновой области вид кривых блеска постепенно меняется. Появляется максимум в области фаз 0.5—0.6, который постепенно усиливается. Максимум на $\varphi=0.0$ постепенно ослабевает и заменяется на минимум. Характерной чертой ИК-кривых блеска является узкое глубокое затмение (дип) на $\varphi=0.42$. Аналогичный дип наблюдался несколько раз на V -кривой [124, 129]. Амплитуды всех кривых меняются в пределах 1^m — 2^m . Например, блеск в V -полосе меняется от 13.5 — 14^m в максимуме до 15.2 — 14.5^m в минимуме, а в J -полосе — от 13^m в максимуме до 13.6 — 14^m в минимуме. Кроме амплитуды меняется форма кривых блеска. Сопоставление разных сетов наблюдений показало, что форма и амплитуда кривых сохраняют стабильность в течение некоторого времени (несколько ночей), но кривые, разделенные до-

статочным большим интервалом времени, заметно различаются. Особенно это заметно на V -кривых.

Рентгеновские кривые как в мягком, так и в жестком диапазонах похожи на ИК-кривые (рис. 21). На месте дипа на $\varphi=0.42$ в жестком рентгене иногда наблюдается слабый дип, а в мягком на этом месте всегда глубокий дип шириной $\sim 0.1P$. Кроме того, кривая в мягком рентгене сильно искажена, особенно в первую половину периода.

Кривые блеска во всех диапазонах излучения искажены сильным фликкерингом. Его амплитуда переменна — от нескольких сотых величины до 0.5—0.7. В полосах V, R, I фликкеринг особенно силен в первую половину периода, а в полосах J, H, K и в рентгене — во время максимума блеска, вокруг дипа на $\varphi=0.42$. Если дип отсутствует, то амплитуда фликкеринга особенно велика.

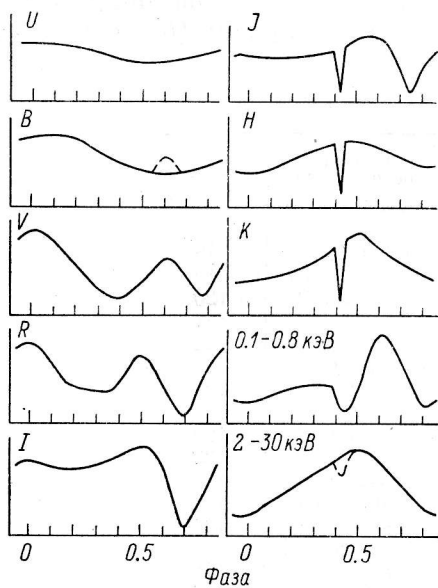


Рис. 21. Кривые блеска EF Eri.

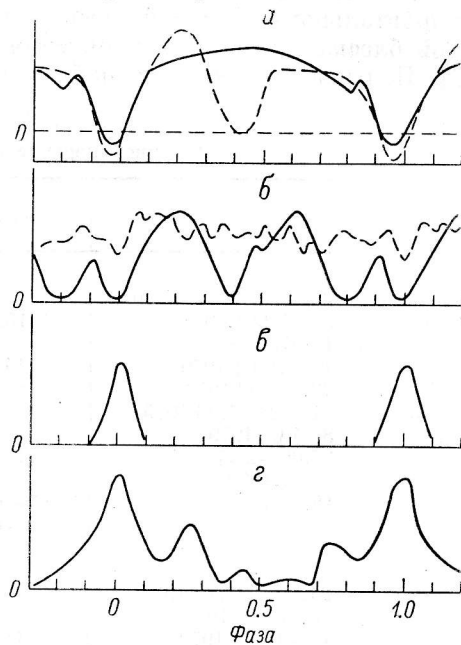


Рис. 22. Примеры кривых круговой (а, б) и линейной (в, г) поляризации EF Eri.

Характерная временная шкала фликкеринга — минуты. Периодическая составляющая отсутствует, но иногда наблюдаются квазипериодические колебания с периодом около 6 мин. Они наблюдались в полосах V [121], I [131] и в рентгене [125, 135]. В [133] наблюдались квазипериодические колебания блеска с периодом около 4 мин одновременно в оптике (V) и жестком рентгене (2—10 кэВ). Ларсон [136] наблюдал квазипериодические колебания с периодом 2—3 с. Они наблюдались в январе 1987 г. при высоком блеске системы (14.5^m — 15^m) в широкой полосе спектра (4000—9000 Å).

Сведения о поляризационных наблюдениях EF Eri собраны в табл. 16, а примеры кривых поляризации показаны на рис. 22. Первые наблюдения Таниа [116], проводившиеся в широкой спектральной полосе, показали, что круговая поляризация положительна в течение всего периода и имеет два минимума на $\varphi=0.0$ и 0.4 . Амплитуда кривой менялась от периода к периоду. На $\varphi=0.0$ наблюдался пульс линейной поляризации, амплитуда которого менялась в пределах 6—9 %. Более подробные наблюдения Бэйли и др. [126, 130] дали иную кривую круговой поляризации: отсутствовал минимум на $\varphi=0.4$, а во время минимума на $\varphi=0.0$ поляризация в синей области становилась отрицательной. Кривые поляризации в разных полосах значительно различались между собой по амплитуде и форме. В белом свете поляризация достигала 20 % в максимуме и около -2.5 % в минимуме (рис. 22, а, сплошная линия). Наибольшая отрицательная поляризация достигалась в полосе B (около -7 %). В красной области спектра (полосы R, I, J) отрицательной поляризации не

ТАБЛИЦА 16
Наблюдения поляризации EF Eri

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
Л и н е й н а я п о л я р и з а ц и я				
Начало 1979	} 16 ^m :	6300—9000	116	Пульс 6—9
21—25.09.1979		4000—8500	130	Пульс 8
4, 5.09, 5—30.10.1983		3600—9200	137	Кривые обычной и переменной формы
27, 29.10.1983		Blue, red, I	137	
15—20.11.1984		14.4	$UBVRI$	134
К р у г о в а я п о л я р и з а ц и я				
Начало 1979	} 14.9	6300—9000	130	0—17
14—16, 26.09.1979		$BVRI$, б/ф		130
13.12.1979	15.2	J	126	0—5
26—29.08.1981	} 16:	4300—6600	89	Спектрополяриметрия
16, 17.01.1982		4300—6600	89	
4, 5.09, 5—30.10.1983	} 14.4	3600—9200	137	Кривые переменной формы
27, 29.10.1983		Blue, red, I	137	
19, 20.11.1984	14.4	$UBVRI$	134	Максимальная в V , от —5 до +14
9—11.09.1986		5500—7000	138	Спектрополяриметрия

наблюдалось, что согласуется с результатом [116]. Кривая линейной поляризации в течение периода имела один пульс, амплитуда которого не зависела от длины волны.

В [130] показано, что большая часть ИК-излучения не поляризована. Это неожиданный результат: так как циклотронная природа ИК-излучения пока что никем не ставится под сомнение, то возникает вопрос о причинах его деполяризации.

Следующие поляризационные наблюдения проведены Кроппером [137] спустя год после наблюдений [130]. Они проводились в белом свете и полосах, близких к B , R , I . В отличие от результата [130] линейная поляризация зависела от длины волны: пик поляризации наблюдался только в R и белом свете. Кривые круговой поляризации наблюдались двух типов: 1) как в [130] (рис. 22, a), но, как правило, без отрицательной поляризации в минимуме; 2) кривые неправильной формы (рис. 22, b , штриховая линия). Кривые линейной поляризации были также двух типов: 1) обычные, с одним пиком в течение орбитального периода (рис. 22, e); 2) неправильные кривые с двойным-тройным главным пиком и несколькими мелкими пиками и не равной нулю линейной поляризацией вне пиков (рис. 22, e).

Кривые круговой поляризации первого типа всегда сопровождаются кривыми линейной поляризации первого типа. А кривые круговой поляризации второго типа — кривыми линейной поляризации обоих типов. Наблюдения [116 и 130] производились при ярком блеске системы, а во время наблюдений [137] блеск системы был, вероятно, ниже 16^m—16^{m.5}. Возможно, что различие их результатов связано с этим обстоятельством.

В январе 1984 г. Пирола и др. [134] измеряли поляризацию в полосах U , B , V , R , I . Кривые поляризации обоих видов сильно менялись с длиной волны по форме и амплитуде. Наибольшая поляризация наблюдалась в полосе V , наименьшая — в U . Кривая круговой поляризации схематически показана на рис. 22, a (штриховая линия). Отрицательная поляризация наблюдалась на протяжении $\sim 0.14P$ в области фаз 0.9—0.0 во всех полосах. Как и положительная поляризация, она наименьшая в U (около —1.5 %) и наибольшая в V (около —5 %). Пульс линейной поляризации наблюдался на $\varphi=0.0$. Его амплитуда и форма менялись с длиной волны: наименьшая амплитуда в U (~1.5 %), наибольшая в V (10—11 %). Вне пульсов поляризация близка к нулю. В длинно-

волновой области спектра (полосы R, I) ширина пульса возросла и появились слабые вторичные пульсы (максимумы).

Изменение максимальной поляризации с длиной волны по измерениям разных авторов показано на рис. 23. Из него видно, что величина круговой поляризации сильно изменяется со временем, особенно в синей области спектра. Форма кривых круговой поляризации также меняется со временем (рис. 22, a, b), причем кривая может оставаться стабильной в течение некоторого времени (несколько ночей), а может меняться от периода к периоду (быстрые изменения). Аналогичная ситуация с линейной поляризацией. Кривая линейной поляризации меняется от обычного единичного пульса в течение периода до сложной кривой (рис. 22, g). Зависимость величины линейной поляризации от длины волны одни авторы отмечают, другие нет.

С чем связана столь сильная переменность поляризации EF Eг1, сказать пока трудно. Напомним, что кривые блеска этой системы стабильны также только

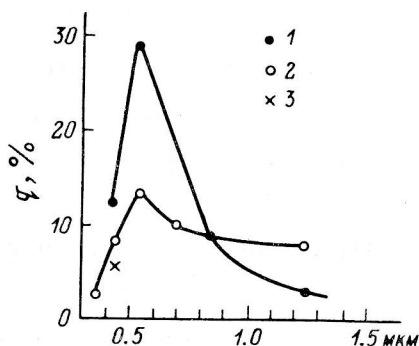


Рис. 23. Изменение максимальной круговой поляризации EF Eг1 с длиной волны.

1 — из [126, 130]; 2 — из [134]; 3 — из [137].

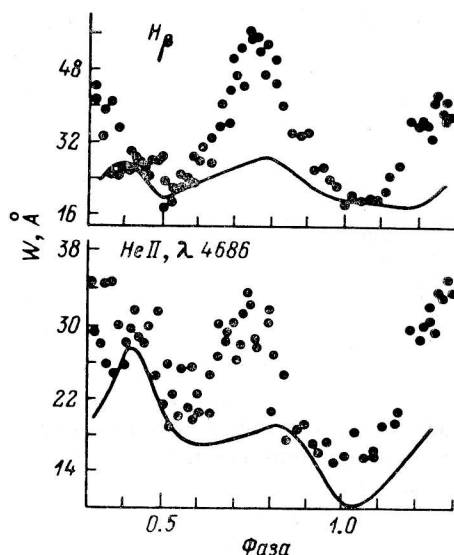


Рис. 24. Изменение эквивалентных ширин линий $H\beta$ и $He II \lambda 4686$ в течение орбитального периода в спектре EF Eг1.

Точки — из [139], сплошная линия — схематическое представление результатов [141].

в течение некоторого времени. Имеющихся данных недостаточно для сопоставления фотометрической и поляризационной переменности. Можно предположить, что нестабильность кривых блеска и поляризации связана с перестройкой структуры ОЗВ. Такая перестройка может быть обусловлена, по нашему мнению, как изменением темпа переноса и аккреции массы в системе, так и неоднородным, переменным во времени полем магнитного белого карлика. Обе эти причины приведут к перестройке аккреционной геометрии системы, в результате чего могут измениться кривые блеска и поляризации. Например, в [134] приведены доказательства фарадеевского вращения плоскости поляризации, что при неоднородном распределении ОЗВ приведет к деполяризации излучения.

Сводка спектральных наблюдений приведена в табл. 17. Спектр EF Eг1 как в оптической, так и в УФ-областях типичен для полярнов. Интенсивности и эквивалентные ширины эмиссионных линий изменяются в течение орбитального периода. Шнайдер и Юнг [139] отмечают, что в области фазы 0.4 (область узкого ИК-затмения) линия $H\alpha$ исчезает. В [123] отмечается, что в этой области фаз линии с $\lambda > 5500 \text{ \AA}$ становятся абсорбционными, а остальные эмиссионные линии ослабевают, но не исчезают. Это явление наблюдалось в течение $\sim 0.1P$. Переход $H\alpha$ из эмиссии в абсорбцию в области узкого ИК-затмения наблюдался также в [128].

ТАБЛИЦА 17
Спектральные наблюдения EF Eri

Дата наблюдений	Блеск V	$D, \text{Å}/\text{мм}; R, \text{Å}$	Область спектра	$\frac{\text{HeII}}{\text{H}\beta}$	Источник
2.12.1978		$D=140$	3400—7300	0.6	117
1978—1979			0.5—30 кэВ	—	120
10.02.1979		$R=2.3$	4000—5800	—	132
2.07.1979	15^m-15^{m5}	$R=3.9$	3600—6700	0.8	139
29, 30.07.1979	15—15.5		1—10 кэВ	—	135
14, 15.08.1979	15—15.5	$R=2.1$	4150—4950	0.8	139
11.11.1979		$D=171$	4000—7000	0.6:	128
26, 27.12.1979		$R=2$	3950—5150	0.7:	140
18—22.02.1980		$D=47$		0.6—0.7:	141
24.07.1980	14	$R=10$	1100—1900	—	142
30.10, 7.11.1980	14.7	$R=1 \div 1.2$	4110—5050	0.64	143
12, 14, 15.11.1980	14.3	$R=2$	3850—5200	—	144
3.02.1983		$R=1.5$	4270—5020	0.6	145

Изменение линий в течение орбитального периода не остается постоянным. На рис. 24 сравнены результаты из [139] и [141], разделенные менее чем полугодом: амплитуда изменений уменьшилась почти вдвое. Из немногочисленных сведений об интенсивностях эмиссионных линий, опубликованных в литературе, можно заключить, что форма бальмеровского декремента переменна и величина отношения интенсивностей линий HeII $\lambda 4686$ к $\text{H}\beta$ меняется от 0.55 до 0.86, т. е. физические условия в области излучения линий не остаются постоянными.

Почти все исследователи спектра EF Eri отмечают сложную структуру эмиссионных линий, причем, как правило, она тем сложнее, чем выше использованное в работе спектральное разрешение. Наиболее часто отмечается двухкомпонентная структура линий, которая искажается непрерывно возникающими и исчезающими дополнительными компонентами. Соотношение интенсивностей компонентов меняется, и, как правило, ни один из них не наблюдается весь период. В момент, когда лучевая скорость становится равной γ -скорости, многокомпонентная структура линий часто пропадает, и они кажутся симметричными. Широкое основание линий более переменна в течение периода, чем пики линий. Последние, как правило, устойчивы в течение нескольких периодов. Сложность структурных изменений линий демонстрируют следующие наблюдательные факты. В [139] не отмечается многокомпонентной структуры линий, а в [141, 144] отмечается хорошо воспроизводимая двухпиковая структура. При этом пики двигались друг относительно друга в противофазе с периодом, примерно равным половине орбитального периода. В [140] также наблюдалась двухпиковая структура линий, но положение пиков было стабильно друг относительно друга и они двигались с периодом, равным орбитальному. Когда пики были видны, расстояние между ними было постоянно и равно 476 км/с. В [143] отмечается сложная структура линий, причем скорости пиков сильно возросли по сравнению с предыдущей работой этих же авторов [139]. Наконец, в [145] наблюдали пики двух типов: как с малыми, так и с большими скоростями.

Сложная и переменная структура линий затрудняет измерение лучевых скоростей. Большинство авторов условно делят линию на широкое основание и резкий пик — верхнюю часть линии или меряют среднее положение линии. Результаты измерений собраны в табл. 18. Величины указываемых авторами ошибок находятся в пределах $\pm 10-20$ км/с и $\pm 0.05P$. Анализ данных табл. 18 показал, что изменение во времени величин K , γ , ψ_{\max} происходит случайным образом. Результаты поиска корреляций между ними показаны на рис. 25. Между полуамплитудой кривой лучевой скорости и γ -скоростью пиков водородных линий обнаружена зависимость с максимумом на $K \approx 500$ км/с. По линии HeII $\lambda 4686 \text{ Å}$ подобной зависимости не обнаружено. Как будто бы есть аналогичная зависимость для оснований и с максимумом на $K \approx 500$ км/с (рис. 25, б). Для пиков линий обнаружена зависимость между полуамплитудой K кривой лучевой скорости и ее смещением по фазе (рис. 25, в). Чем больше величина K ,

Параметры кривых лучевых скоростей EF Eri

Дата наблюдений	Источник	Пики			Основания			Линия в среднем			По каким линиям измерено	
		К	γ	φ_0	К	γ	φ_0	К	γ	φ_0		
02.1979	132							355	+130	0.53	По всем линиям	
07.1979	139							393	-17	0.51	H β	
								397	+34		H γ	
								367	-39		HeII, $\lambda 4686$	
08.1979	139	227	+14	0.50	429	+46	0.55	395	+35	0.52	H β	
		257	+49		463	+91		417	+32		H γ	
		243	+10		435	+76		349	+53		HeII $\lambda 4686$	
11.1979	128							440	+240	0.51	По всем линиям	
12.1979	140											
		578	+114	0.54	463	+126	0.50			0.56	H β	
					463	+120		0.50				H γ
					462	+117		0.52				HeII $\lambda 4686$
02.1980	141				601	-10	0.49	350	+115	0.57	По всем H-линиям	
								344	+132		HeI $\lambda 4471$	
								328	+62		HeII $\lambda 4686$	
		709	-66	264	+33	0.44		350	+66		H β	
								344	+76		H γ	
		592	+17	207	+32	0.52		367	+52	0.59	HeII $\lambda 4686$	
11.1980	143							377	+134		HeI $\lambda 4471$	
								337	+62	0.57	H β	
								346	+67		H γ	
		475	+207					341	+33	0.51	$\lambda 4686$ HeII	
		425	+25					361	+105		$\lambda 4471$ HeI	
11.1980	144			0.58							Водород, CaII	
				0.50							HeII, CII	
		274 (1)	+90 (1)	0.50 (1)							H β	
		662 (2)	+116 (2)	0.66 (2)							H γ	
02.1983	145				493	+119	0.51			0.51	$\lambda 4686$ HeII	
					463	+90						
					492	+120						

тем сильнее сдвиг кривой. Для оснований аналогичной зависимости не обнаружено.

Как сказано выше, кривые блеска и поляризации EF Egi меняются со временем. Причем если кривые блеска сохраняют стабильность в течение некоторого времени, то кривые поляризации могут меняться быстро. Изменение кривых блеска указывает на то, что распределение светящегося вещества в объеме системы не остается постоянным. Быстрые изменения поляризации требуют другого объяснения. Результаты спектральных наблюдений, существование сложных и переменных профилей линий, замена эмиссионных линий абсорбционными, переменность лучевых скоростей, изменение со временем интенсивностей линий и бальмеровского декремента, появление и исчезновение движущихся с разными скоростями дополнительных пиков и прочее также указывают на нестабильность области возникновения эмиссионных линий. В объеме системы должны меняться распределение вещества, светящегося в линиях, а также его количество и физические условия в нем. Острайхер и Сейферт [146] также пришли к заключению, что существование одновременно нескольких кривых лучевых скоростей в течение орбитального периода следует объяснять кинематическими причинами. Появление иногда на кривых блеска дополнительных экстремумов означает, что в областях излучения континуума временами происходит заметное изменение структуры или, возможно, возникают лучшие условия видимости этой структуры, что может быть связано с изменением структуры вышележащих областей.

Таким образом, вся совокупность наблюдательных фактов приводит к заключению о существовании в системе EF Egi ОЗВ типа неоднородной оболочки, неравномерно окружающей оба компонента системы. Структура такой оболочки изменяется во времени, и отдельные ее части достаточно плотны, чтобы излучать и поглощать в континууме.

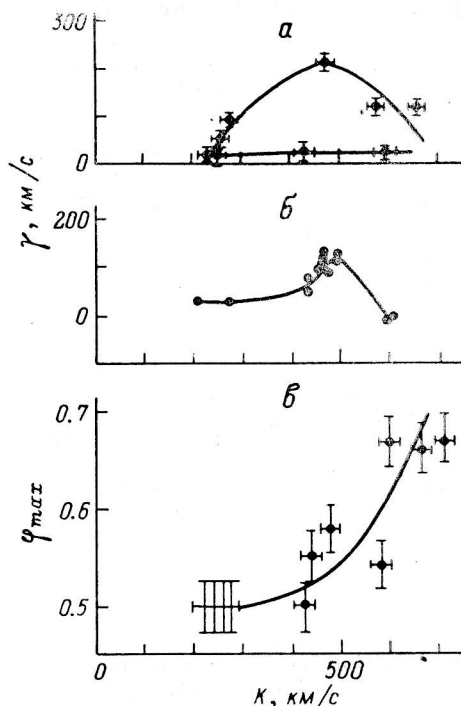


Рис. 25. Связь между некоторыми параметрами кривых лучевых скоростей EF Egi.

a, б — по пикам линий (точки — H, крестики — HeII); *в* — по основаниям линий. Величины ошибок на рис. *б* такие же, как на *a*.

PG 1550+191

Объект был открыт как голубая звезда [147]. Последующие наблюдения поляризации показали, что он относится к системам типа AM Her. Фотометрические наблюдения этого поляра немногочисленны (табл. 19), хотя открыт он до-

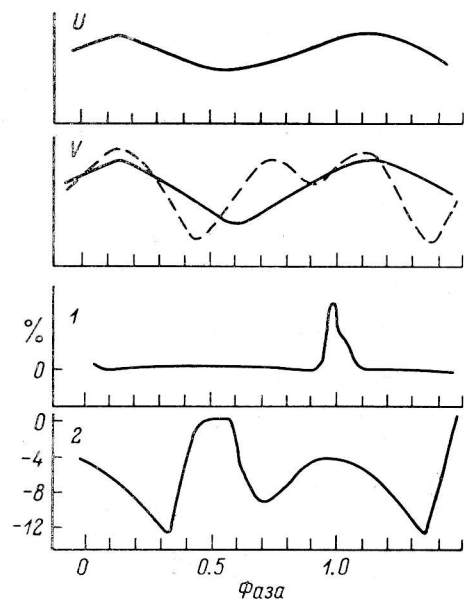
ТАБЛИЦА 19

Фотометрические наблюдения PG 1550+191

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
6, 7.06.1981	15 ^m 4	UBVR ₂	148
9, 10.06.1981	15.4	JHK	148
16.08.1982	15.5	VI	149
4—6.06.1985	16.5	7900—8400	150

вольно давно и удобно расположен на небе. Долговременные изменения блеска в 1972—1981 гг. прослежены в [151]. В эти годы средний блеск системы менялся в пределах $14.^m7$ — $15.^m7$. Позднее отмечались понижения блеска до $16.^m5$ — $17.^m$ [152, 153]. Таким образом, у PG 1550+191, как у других полярных, имеются высокое (H) и низкое (L) состояния блеска.

Орбитальные кривые блеска в H -состоянии представляют собой синусоиды (рис. 26, сплошная линия). Их амплитуда наименьшая в U ($\sim 0.^m4$) и возрастает



вдвое в полосах V и R . Во всех фазах орбитального периода на кривых блеска заметен фликкеринг. Для L -состояния системы орбитальная кривая блеска в полосе 7900 — 8400 \AA построена в [150] (рис. 26, штриховая линия). На этой кривой два минимума. Положение главного минимума на $\varphi \approx 0.4$ — 0.5 близко к положению минимума в H -состоянии, а вторичного минимума на $\varphi \approx 0.9$ в H -состоянии не наблюдается. Пока неясно, связано ли это различие форм кривых блеска с разным состоянием блеска системы или это обычная переменность, аналогичная наблюдаемой у других полярных. Блеск в ИК-диапазоне в L -состоянии понизился: в полосе J от $13.^m75$ до $14.^m9$, в K — от $13.^m17$ до $13.^m9$ [148].

Результаты наблюдений поляризации приведены в табл. 20, а кривые поляризации на рис. 26. В течение периода наблюдается один пульс линейной поляризации. Он асимметричен, и его амплитуда меняется в пределах 2—5 %. Вне пульса поляризация равна нулю. Кривые круговой поляризации довольно

Рис. 26. Кривые блеска и поляризации PG 1550+191.

сложной формы и несколько различны в разных полосах. В течение периода поляризация отрицательна. Необычность кривых поляризации в том, что круговая поляризация не равна нулю в момент пульса линейной поляризации, а достигает нуля спустя $0.5P$. Можно предположить, что круговая поляризация меняется в течение периода синусоидально, но по каким-то причинам сильно искажена. Аналогичное искажение наблюдалось, например, у AM Her, и временами оно пропадает.

Сведения о спектральных наблюдениях приведены в табл. 21. Во время первых наблюдений [148], проведенных в высоком состоянии блеска системы, в спектре были зарегистрированы сильные линии H, He I и II, линия Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ и бленда C III—N III $\lambda 4640 \text{ \AA}$, т. е. обычный для полярных эмиссионный спектр. Кроме того, присутствовали линии C II, C IV, O III, а линия He II

ТАБЛИЦА 20
Наблюдения поляризации PG 1550+191

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
Линейная поляризация				
8—15.06.1981	$15.^m4$	5600—8600	148	Пик 2—5
23, 24.06, 30.08.1981	15.4	5600—8600	148	
Круговая поляризация				
6, 7.06.1981	15.4	3200—5600 6300—8600	148	От 0 до —13
26—29.08.1981	15.8	4250—6650	89	» 0 » —11 » +1 » —12

$\lambda 4686 \text{ \AA}$ была самой интенсивной линией спектра. Профили линий были асимметричны. Величина и знак асимметрии менялись в течение периода. В красной области спектра обнаружены абсорбционные детали [154], которые, вероятно, являются полосами окиси титана и принадлежат к спектру вторичного компонента, спектральный класс которого оценен M3 V. Последующие наблюдения в ИК-области выполнены в [150, 156] в июне 1985 г., когда система была в низком состоянии блеска. Условия наблюдения вторичного компонента были поэтому более благоприятны. Кроме полос TiO, в спектре PG 1550+191 был обнаружен абсорбционный дублет NaI $\lambda 8183-8194 \text{ \AA}$ и эмиссионный триплет CaII $\lambda 8498-8662 \text{ \AA}$. Спектральный класс вторичного компонента оценен как M5.5, а расстояние до системы ~ 142 пк. Так как кривые лучевых скоростей по линиям NaI и CaII были почти одинаковы, то в [150] сделано заключение, что эмиссия CaII возникает тоже во вторичном компоненте, который должен проявлять хромосферную активность.

ТАБЛИЦА 21
Спектральные наблюдения PG 1550+191

Дата наблюдений	Блеск V	D, Å/мм; R, Å	Область спектра	$\frac{\text{HeII}}{\text{H}\beta}$	Источник
2.06.1981	15 ^m 4	R=6	3300—5700	1.1	148
4.06.1981	15.4	R=3	3800—5000	1.1	148
5, 6.08.1981	15.5:	R=50	4400—8300	0.5	154
10.06.1983	15.5	R=6; 8	1000—3000	—	155
6—8.06.1984	15.5	R=3	3500—7000	0.4	152
2—5.07.1984	17	R=4	3500—5200	—	152
4—6.06.1985	16.5	R=3.9	7550—8840	—	150
		R=1.7	7830—8460	—	150
7.06.1985	L	R=15	6000—9500	—	156
10—14.07.1986	15.8	D=172 и 59		—	157
15.02.1987	16.6	R=6	1200—1950	—	93

УФ-конец спектра наблюдался в [155] в высоком состоянии блеска системы. Там присутствовали эмиссионные линии высокого возбуждения HeII, CII и IV, SiIII и IV, MgII и NV, т. е. обычный для полярных спектр. Необычной была большая крутизна континуума: $F_\lambda \propto \lambda^{-2}$ в области $\lambda < 3500 \text{ \AA}$, а в области $\lambda < 1600 \text{ \AA}$ континуум идет еще круче: $F_\lambda \propto \lambda^{-4}$. В низком состоянии блеска линии ослабли и некоторые из них исчезли [93]. Хорошо заметна осталась только линия CIV.

Повторные спектральные наблюдения в оптическом диапазоне в H- и L-состояниях блеска системы были проведены спустя три года [152]. Хотя в июне 1984 г. система была в высоком состоянии блеска, ее спектр сильно изменился: уменьшились интенсивности эмиссионных линий и изменилось их соотношение, появилось много слабых эмиссионных линий однократно ионизованных металлов — Fe, Cr, Ni, V, а также высоковозбужденных элементов Si, O, C, N в разных стадиях ионизации, от II до V. Особенно сильно влияние слабых эмиссий в области между линиями H δ и HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$. Здесь они, сливаясь, дают кажущийся подъем континуума. В июне 1984 г. в спектре PG 1550+191 присутствовала довольно сильная эмиссионная линия $\lambda 4710 \text{ \AA}$, которую не удалось отождествить с какой-нибудь известной атомарной линией. Ее интенсивность была особенно сильна в момент максимальной величины отрицательной круговой поляризации (рис. 27). На том же рисунке показано изменение эквивалентных ширин некоторых эмиссионных линий из работы [152] и сравнены бальмеровские декременты [148 и 152]. Видно, что величина W водородных линий возрастает как раз в той области фаз, где резко уменьшается круговая поляризация. В [157] наблюдаются абсорбционные линии, которые, вероятно, являются зеемановскими компонентами H α , но не являются фотосферными линиями. Одновременно наблюдался бальмеровский инкремент вместо декремента.

ТАБЛИЦА 22

Параметры кривых лучевых скоростей PG 1550+191

Дата наблюдений	Источник	Пики		Основания		По каким линиям измерено
		К	γ	К	γ	
06.1981	148	170	-23	188	-45	H β λ 4471 HeI λ 4686 HeII CaII
		182	-21			
		170	-9			
		156	+5			
06.1984	152	—	-130:	555 415	+45 +215	H α H β H γ HeI λ 4686 HeII CaII
		205	-25			
		225	-35			
		300	-130			
		240	-70			
06.1985	150	230:	+250			CaII CaII (триплет IR) NaI (абсорбция IR)
		260	-20			
		250	-20			

Различия наблюдались не только в линейчатом спектре, но и в континууме: в 1981 г. был сильный эмиссионный бальмеровский скачок ($D = -0.4$), а в 1984 г. он почти исчез ($D < -0.1$). В 1981 г. интенсивность континуума возрастала в длинноволновую сторону, а в 1984 г. она уменьшалась. Отношение потоков I_{7000}/I_{5000} в континууме составляло 4 в 1981 г. и 0.4 в 1984 г.

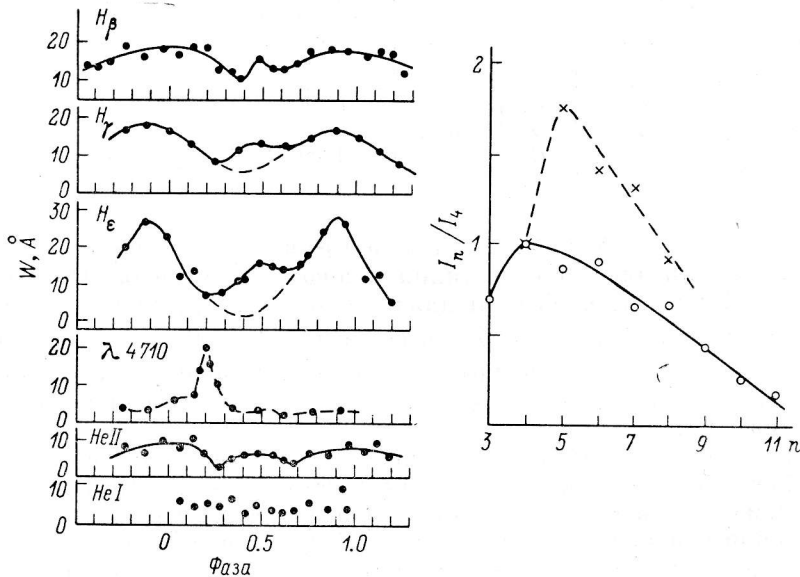


Рис. 27. PG 1550+191.

Изменение эквивалентных ширин линий в течение орбитального периода и изменение со временем бальмеровского декремента.

Кривые лучевых скоростей измерялись в [148, 150, 152]. Обнаружено различие кривых по разным элементам, особенно в величине γ -скорости, которая меняется от -130 до $+250$ км/с (табл. 22). Амплитуды кривых в 1984 г. больше, чем в 1981 г., причем изменения сильнее у оснований. Кроме того, в 1984 г. обе кривые лучевых скоростей, как по пикам, так и по основаниям сдвинуты по фазе на $0.4P$ по сравнению с их положением в 1981 г., хотя величина смещения кривых друг относительно друга не изменилась и примерно равна смещению в 1981 г. Мукаи и Чарлес [150] предположили, что сдвиг кривых не реален, а обусловлен неточностью эфемерид [148]. Они вычисляют новое значение периода путем совмещения кривых [148 и 152]. Хотя необходимость уточнения

эфемерид очевидна, прием, используемый для этого в [150], вызывает сомнения. Во-первых, утверждение, что сдвига между кривыми, полученными в разные годы, не должно быть, спорно. Во-вторых, из-за малой продолжительности периода знать его надо с очень высокой точностью, что пока трудно. Для совмещения по фазе кривых лучевых скоростей [148 и 152] подходят два периода — $0^d07887253$ и $0^d0788765$. Предлагаемый в [150] период является средним из этих двух величин. Если теперь с любым из них пересчитать фазы кривых лучевых скоростей [150], то они окажутся сдвинутыми от положения, указанного авторами.

Очевидно, что при такой чувствительности положения кривых лучевых скоростей к незначительному изменению величины орбитального периода говорить об их взаимном расположении преждевременно. Можно только считать установленным, что между кривыми лучевых скоростей по пикам и основаниям линий существует сдвиг $\sim 0.2P$. Полуамплитуды кривых лучевых скоростей приведены в табл. 22. Делать какие-либо выводы о месте формирования линий в системе, основываясь на фазировке кривых лучевых скоростей, нельзя. Необходимо дальнейшее уточнение периода системы.

В июле 1984 г. Войханская [152] наблюдала систему PG 1550+191 в низком состоянии блеска ($V \approx 17^m$). Ее спектр сильно изменился. Из эмиссионных линий остались только слабые и асимметричные линии водорода. Интенсивность их переменна, и в некоторые ночи они не были видны, кроме очень слабой линии H_β . Появились широкие и асимметричные абсорбционные и эмиссионные полосы, положение которых не совпадает с видимыми ранее эмиссионными линиями. Из абсорбционных полос наиболее сильны $\lambda 4972, 4673, 4436, 4235 \text{ \AA}$. Измерение лучевой скорости затруднено сильной переменностью профилей линий. Средняя скорость по пикам водородных линий $+260 \text{ км/с}$, по основанию H_β $+35 \text{ км/с}$. Последняя величина близка к γ -скорости по основанию H_β при более ярком блеске системы.

В июне 1985 г. PG 1550+191 наблюдался в низком состоянии блеска [153]. Амплитуда изменения блеска в течение орбитального периода уменьшилась, эмиссионные линии сильно ослабли. Появились абсорбционные детали, соответствующие М-карлику, но распределение в континууме было более плоское, чем ожидалось от вторичного компонента.

Хотя наблюдения PG 1550+191 немногочисленны, тем не менее, очевидно, что многие характеристики этого поляра меняются со временем: величина пульса линейной поляризации, линейчатый спектр (его состав, степень возбуждения, интенсивности линий и их соотношения), распределение в континууме, кривые лучевых скоростей. Замечательно, что эквивалентные ширины водородных линий увеличиваются в момент уменьшения до 0 % круговой поляризации, а профили H_α очень переменны и иногда бывают типа P Cug [152]. Это говорит о том, что в областях, где формируются эмиссионные линии и континуум, меняются со временем физические условия. Какова временная шкала этой переменности, пока сказать нельзя, нужны новые наблюдения. Наблюдаемая переменность характеристик PG 1550+191 не противоречит модели переменной околозвездной оболочки, как в случае рассмотренных ранее поляров.

Е 1114+182

Источник Е 1114+182 был открыт при рентгеновских исследованиях поля вокруг галактики NGC 3607. Последующие спектральные и поляриметрические наблюдения указали на его принадлежность к системам типа AM Her. Е 1114+182 — одна из самых короткопериодических двойных систем. Ее период равен 89.8 мин.

Сведения о проведенных наблюдениях собраны в табл. 23. Первое и пока единственное подробное исследование этой системы выполнено Бирманом и др. [158]. Изложенные далее результаты взяты в основном из этой работы. Как все поляры, Е 1114+182 бывает в высоком и низком состояниях блеска, различающихся по средней величине на $\sim 1^m - 1^m5$. Кривая блеска в мягком рентгене (рис. 28, а, сплошная линия) имеет сильный максимум продолжитель-

ТАБЛИЦА 23
Наблюдения E 1114 + 182

Дата наблюдений	Источник	Блеск V	Вид наблюдений	Характеристика наблюдений	Результат
7.12.1979 12.1981—02.1982	158 158	17 ^m 5	Фотометрия Поляриметрия	02—1.3 кэВ 3200—8600	Пик линейной поляризации, круговая поляризация от +10 до -35 %
24.01.1982	158	17.5	Спектроскопия	4500—7500, R=6 4100—5000, R=3	HeII/H β =0÷0.2
10.06.1983	155	18.5	»	1200—2000, R=6	
1.02.1984	158	18.5	»	4200—5000, R=1	HeII/H β =0
4.03.1984	158	18.5	Поляриметрия	б/ф	Пик линейной поляризации ~10 %, круговая поляризация от +8 до -30 %
3.06.1984 20.12.1984	} 159		Фотометрия	1.4—3.4 кэВ	

ностью примерно половину периода. Вне максимума рентгеновское излучение практически не регистрируется. Во время максимума происходит узкое глубокое затмение на $\varphi=0.7$. Затмение полное и его продолжительность составляет 4 мин. Кривые, наблюдаемые через 5 лет [159] (рис. 28, а), имеют заметные отличия, главный максимум смещен по фазе, имеется слабый вторичный максимум, а узкого затмения не обнаружено из-за сильного шума. Реальность смещения рентгеновских кривых блеска нельзя считать достоверной до уточнения величины орбитального периода.

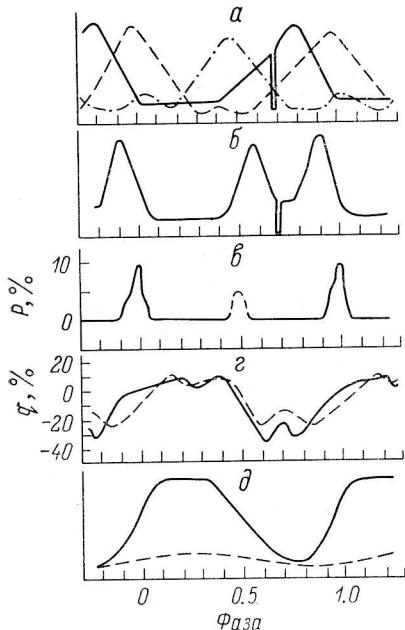


Рис. 28. E 1114+182.

Кривые блеска (а, б), поляризации (в, г) и изменения интенсивности линий (д).

Оптическая кривая блеска была получена во время поляризационных наблюдений. Кривая для *H*-состояния не приводится, а в *L*-состоянии на ней имеются яркая и слабая фазы и узкое полное затмение, как на рентгеновской кривой блеска и на тех же самых фазах (рис. 28, б). В максимуме яркой фазы блеск системы равен $\sim 17^m.5$, в слабой фазе $\sim 19^m$, а во время узкого затмения $\sim 22^m$ (в белом свете). Отличие оптической кривой состоит в том, что во время яркой фазы имеются два максимума, а не один, как на рентгеновской кривой.

Кривые поляризации показаны на рис. 28, в, г. Из-за слабости объекта все измерения поляризации сделаны в широкой спектральной полосе (3200—8600 Å). В течение периода имеется пульс линейной поляризации с амплитудой $\sim 10\%$.

Пульс асимметричный и довольно широкий. Возможно, что имеется более слабый пульс $\sim 5\%$ на фазе $\varphi=0.5$. Вне пульсов поляризация, по-видимому, не равна нулю. Пульсы наблюдаются как в *L*-, так и в *H*-состояниях. Момент максимума главного пульса принимается, как обычно, за фазу $\varphi=0.0$.

Кривые круговой поляризации для разных состояний блеска системы показаны на рис. 28. Во время яркой фазы кривой блеска круговая поляризация

отрицательна, а во время слабой фазы — положительна. Во время узкого глубокого затмения поляризация уменьшается примерно на 10 %. Еще одно уменьшение поляризации примерно на такую же величину, но противоположного знака наблюдается через $0.5P$ во время слабой фазы, когда поляризация положительна. При разном блеске системы кривые различаются по амплитуде: в H -состоянии амплитуда больше (от +10 до -35—40 %), а в L -состоянии, она меньше (от +8—10 до -25—30 %).

Спектр E 1114+182 в высоком состоянии блеска содержит эмиссионные линии водорода. Линии HeI и II слабы и наблюдаются не весь период. Отношение интенсивности линии HeII $\lambda 4686$ к $H\beta$ меняется в течение периода в пределах 0—0.2, что мало для полярнов. Поэтому можно предположить, что у E 1114+182 должно быть более высокое состояние блеска, чем то, которое наблюдалось в [158]. Изменение потоков в эмиссионных линиях в течение орбитального периода показано на рис. 28. В H -состоянии системы поток максимален во время слабой фазы кривой блеска и минимален во время яркой. В L -состоянии линии очень слабы (почти отсутствуют) и поток в них почти постоянен.

Континуум в H -состоянии системы во время яркой фазы кривой блеска возрастает в длинноволновую сторону, а во время слабой фазы он плоский. В L -состоянии средний за период континуум тоже красный. По данным [155], распределение в континууме в H -состоянии системы иное: от ультрафиолета до оптики континуум плоский, а далее быстро понижается в инфракрасную область. Рентгеновский спектр очень мягкий. Большая часть потока излучается в интервале 0.15—0.5 кэВ.

Кривые лучевых скоростей были измерены по основаниям линий в H -состоянии и по пикам в L . Кривые имеют разные полуамплитуды ($K=480$ км/с для оснований и 320 км/с для пиков), различны по γ -скорости (+265 км/с у оснований и -25 км/с у пиков) и сдвинуты друг относительно друга на $\sim 0.3P$. Подобные различия обычны между кривыми по пикам и основаниям, поэтому трудно сказать, имеет ли в данном случае значение разный блеск системы при их получении.

Нет никакого сомнения в том, что эта система заслуживает дальнейшего подробного исследования. Пока же, основываясь на имеющихся данных, можно предположить, что характеристики этой системы будут переменны, как у других полярнов.

Н 0139—68

Н 0139—68 был открыт как источник мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 0.15—0.4 кэВ. Позднее его отождествили [160] с двойной системой, имеющей период 143.6 мин. Принадлежность к объектам типа AM Her доказана в начале 1982 г., когда Висванатан и др. [161, 162] и Бэйли и др. [163] обнаружили высокую степень поляризации его оптического излучения.

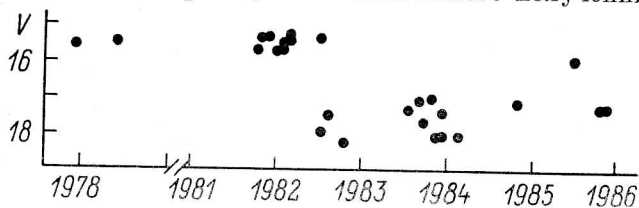


Рис. 29. Долговременные изменения блеска Н 0139—68.

Сводка о фотометрических наблюдениях и отдельных оценках блеска Н 0139—68 приведена в табл. 24. По данным этой таблицы построена долговременная кривая блеска (рис. 29), из которой видно, что блеск системы нерегулярно меняется и можно выделить два основных состояния блеска системы: высокое (H) — $\bar{V}=15^m5$ и низкое (L) — $\bar{V}=17^m5$.

Кривые блеска для высокого состояния приведены на рис. 30. На кривой блеска в полосе V имеется максимум, продолжающийся около 70 % периода.

ТАБЛИЦА 24
Фотометрические наблюдения Н 0139—68

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
15—23.11.1977	H	0.15—0.4 кэВ	164
13—18.05.1978	H	0.15—0.4 кэВ	164
6.10.1981	15 ^m 7	V	160
24, 26.10, 22.11.1981	15.3	$V, \delta/\phi$	165
31.12.1981	15.7	UBV	166
22.01.1982	H	δ/ϕ	165
24, 25.01.1982	H	δ/ϕ	167
18, 19.02.1982	15.3	VR	165
18, 21.06.1982	15.3	V	168
25, 26.07.1982	H	δ/ϕ	167
15.07.1983	17.3	V	169
15—17.07.1983	18	δ/ϕ	167
5.06, 7.09.1983	17	δ/ϕ	170
30.08—1.09.1983	18	δ/ϕ	167
25.09.1983	17.6	$V, 1 \text{ мкм}$	171
24.10.1983	17	V	171
25.10.1983	17.9	δ/ϕ	167
14.11.1983	18	V	172
15.12.1983	17.3	$V, 1 \text{ мкм}$	171
02.1984	18	V	173
31.07.1984	17—18	Soft X-ray	173
23.10.1984	17.1	$UBVR$	173
		0—10 кэВ	
13.11.1984	17—18	Soft X-ray	173
15.11.1984	17.2	$UBVRI$	174
14—19.06.1985	15.9	V	167
31.10, 3.11.1985	17.3	V	175

Его амплитуда в среднем равна 1^m5 , но от ночи к ночи может меняться до 2 раз. Характерной особенностью V -кривой является крутой подъем блеска от минимума к максимуму и пологий спуск от максимума к минимуму. Продолжитель-

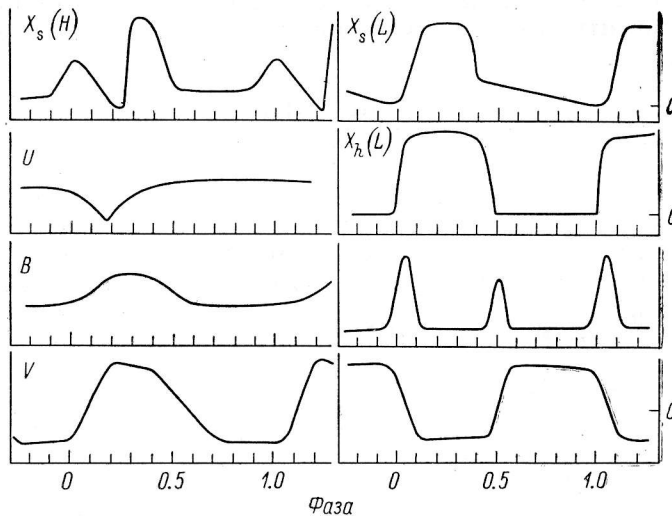


Рис. 30. Кривые блеска и поляризации Н 0139—68.

ность подъема блеска $0.1—0.15P$, а спуска $0.3P$. В R - и I -полосах кривые блеска аналогичны V -кривой. Изменения блеска в полосах B и U невелики. Небольшой максимум, имеющийся на B -кривой, расположен в той же области фаз, что на V -кривой, но его продолжительность меньше — $0.4—0.5P$, а амплитуда всего $\sim 0^m2$. На U -кривой максимума нет, а в области фазы ~ 0.2 иногда появляется минимум глубиной $0^m2—0^m3$ и продолжительностью $\sim 0.3P$. Кривая

блеска в мягком рентгене (рис. 30) содержит сильный и широкий максимум, расположенный в той же области фаз, что и максимум на V -кривой. Максимум рентгеновской кривой искажен сильным поглощением в области фаз $\varphi=0.2$, т. е. там же, где наблюдается минимум U -кривой. В [164] отмечается, что источник регистрировался только в диапазоне энергий не выше 0.4 кэВ. О существовании жесткой компоненты рентгеновского излучения в высоком состоянии блеска системы пока ничего определенного не известно.

В низком состоянии системы форма кривой блеска в V -полосе сохраняется, но амплитуда максимума уменьшается в 2—3 раза. В [170] отмечено исчезновение максимума: в течение орбитального периода блеск изменялся случайным образом и в небольших пределах. В области фаз 0.8—1.0 иногда появлялись узкие глубокие минимумы. U - и V -кривые при пониженном блеске приводятся в [174], они напоминают синусоиду с полуамплитудой ~ 0.1 . Рентгеновская кривая блеска изменилась значительно [173] (рис. 30). В мягком диапазоне (0.05—2 кэВ) максимум в первой половине периода сохранился, но стал уже и в нем исчезло поглощение в области фаз $\varphi=0.2$. Между соседними максимумами поток плавно понижается до нуля к моменту начала следующего максимума. В жестком диапазоне (1—10 кэВ) поток наблюдается только в первую половину периода, причем и подъем, и падение блеска происходят очень быстро, а между максимумами поток равен нулю. Следует отметить, что изменение формы рентгеновских кривых блеска может быть не связано с разными уровнями блеска. Подобное наблюдается у других полярных.

ТАБЛИЦА 25
Наблюдения поляризации Н 0139—68

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
Линейная поляризация				
01.1982	H	δ/ϕ	161	Пик $\sim 7\%$
18, 21.06.1982	$15^m 3$	V	168	Два пика 20 и 10
5.06, 7.09.1983	17	δ/ϕ	170	Пика нет
15—17.07.1983	} 17.9	3500—9000	167	Практически 0 весь период
30.08—1.09.1983				
25.10.1983				
13—20.11.1984	17.2	UBV	174	Слабые пульсы 2—4
17, 18.06.1985	15.9	RI	167	Пик 12 » 13
Круговая поляризация				
1982	H	VJ	162	V от 15 до -9 , V от 10 до -2
15—17.07.1983	} 17.9	3500—9000	167	От 0 до -2
30.08—1.09.1983				
25.10.1983				
13—20.11.1984	17.2	UB	174	» -3 » $+2$
17.18.06.1985	15.9	V	167	» -10 » $+2$
		RI		» -17 » $+5\%$ » $+18$ » -6

Сведения о наблюдениях поляризации приведены в табл. 25, а кривые поляризации — на рис. 30. При высоком блеске системы на кривой линейной поляризации наблюдаются два резких пика. Главный, более сильный, пик появляется на фазах 0.0—0.05. Его амплитуда достигает 20 %, а продолжительность около 10 мин. Второй, более слабый, пик наблюдается на фазе 0.5, и его амплитуда примерно вдвое меньше амплитуды главного пика. В [167] второй пик наблюдался на фазе 0.35. Как видно из табл. 25, амплитуда главного пика сильно меняется, до 3 раз. Второй пик наблюдается не всегда. По-видимому,

он может исчезнуть, когда амплитуда главного пика сильно уменьшится [161]. Вне пиков поляризация равна $\sim 2\%$.

В низком состоянии блеска при наблюдениях в белом свете пики линейной поляризации не наблюдались и поляризация была равна 0% [167]. Пятицветные наблюдения Пиролы и др. [174] показали, что пики отсутствуют в UBV , а в ИК-области (R и I) пики линейной поляризации достигают 12% .

Кривые круговой поляризации заметно различаются в деталях у разных авторов. В общем, поляризация отрицательна во время яркой фазы кривой блеска и положительна в слабой фазе. Смена знака круговой поляризации происходит в моменты пиков линейной поляризации. В [167] отмечается высокая корреляция между колебаниями блеска и круговой поляризации. Почти каждому пику на кривой блеска соответствует локальный максимум на кривой круговой поляризации.

В низком состоянии блеска наибольшая круговая поляризация наблюдается в ИК-области [174], а в высоком — как будто бы в видимой (V) [162]. При наблюдении в белом свете в низком состоянии [167] поляризация практически отсутствовала, что противоречит результату [174].

Таким образом, кривые поляризации оказались переменны как по форме, так и по амплитуде. Переменность наблюдается при всех уровнях блеска системы.

ТАБЛИЦА 26
Спектральные наблюдения H 0139—68

Дата наблюдений	Блеск V	D , $\text{\AA}/\text{мм}$; R , \AA	Область спектра	$\frac{\text{HeII}}{\text{H}\beta}$	Источник
6.10.1981	15 ^m 7	$R=3.2$	4000—6100	0.5	160
31.12.1981	15.7	$R=3.4$	3750—5100	0.6	166
8, 9.11.1982	15	$R=2$			176
15.07.1983	17.3			$\ll 1$	169
29.09.1983	17.4	$D=66$	3800—5500	0	177
24.10.1983	17		5100—8850	—	171
14, 15.11.1983	18			0	172
3, 4.02.1984	18	$R=12$	3800—8400	0	173
23, 24.10.1984	17.1	$R=8$	4100—5200	0	173
31.10, 3.11.1985	17.3			0	175

Сведения о спектральных наблюдениях H 0139—68 в табл. 26. В высоком состоянии блеска спектр H 0139—68 обычный для полярных — в нем содержатся сильные эмиссионные линии H, HeI и II, а также линия CaII λ 3933 и бленда CIII—NIII λ 4640. Профили линий асимметричны, величина и знак асимметрии меняются в течение периода. К сожалению, сведений о величинах эквивалентных ширин и интенсивностях линий очень мало, поэтому ничего нельзя сказать о переменности или постоянстве этих спектральных характеристик во времени. В течение периода величина потока в линиях меняется таким образом, что максимум потока приходится на время уменьшения блеска от максимума к минимуму [160, 166]. Из данных [166] как будто бы следует, что максимум потока в линии HeII λ 4686 наступает примерно на $0.15P$ раньше максимума в водородных линиях и расположен ближе к максимуму блеска. Это, однако, не согла-

ТАБЛИЦА 27
Параметры кривых лучевых скоростей H 0139—68

Дата наблюдений	Источник	Пики		Основание	
		K	γ	K	γ
10.1981	160	240	90	250	110
12.1981	166	130	50		
11.1982	176	140	30		
1984	173	180	80 (0)?		

суется с результатами [160]. Бальмеровский декремент частично инверсный. Наибольшее отношение $N_\gamma/N_\beta=1.8$ наступает в максимуме блеска, а наименьшее 1.5 — в минимуме. Отношение $N_\beta/N_\gamma \approx 1.0$ во всех фазах.

Характеристики кривых лучевых скоростей приведены в табл. 27. Видно, что у кривых, построенных в разные годы, меняются полуамплитуда и γ -скорость, причем нет разницы между кривыми, полученными в разных состояниях блеска системы. Сравнение кривых по пикам и основаниям сделано в [166]: кривая по основаниям линий имела большую амплитуду и γ -скорость, чем кривая по пикам, сдвига между ними не наблюдалось. Из табл. 27 следует, что чем больше амплитуда кривой лучевой скорости, тем больше величина γ -скорости (рис. 31). Подобная зависимость наблюдалась только у EF Eri. Сдвига по фазе между разными кривыми не наблюдается. Максимум положительной скорости достигается в момент максимума блеска $\varphi \approx 0.2$, а минимальная отрицательная скорость — во время падения блеска на $\varphi \approx 0.7$. Напомним, что примерно в это же время наблюдаются экстремальные потоки в линиях. Таким образом, во время максимума блеска достигается максимум лучевой скорости, наступает минимум потока в линиях и наибольшее отношение N_γ/N_β . Кроме того, примерно в это же время наблюдаются минимумы на кривых блеска в полосе U и мягком рентгене (рис. 30). Во время падения блеска от максимума к минимуму наблюдаются минимум лучевой скорости, максимум потока в линиях и наименьшее отношение N_γ/N_β .

В низком состоянии блеска системы вид ее спектра меняется — все эмиссионные линии ослабевают и многие из них исчезают. Остаются видны несколько слабых и узких первых бальмеровских линий. Линии HeI и H, как правило, не видны. Большинство авторов отмечает присутствие в спектре широких и мелких абсорбционных деталей, смещенных относительно водородных линий в синюю сторону. Эти абсорбции интерпретируются как зеемановские компоненты линий белого карлика. На основании этого предположения сделаны оценки напряженности магнитного поля на поверхности белого карлика $B=(1.5 \div 2) \cdot 10^7$ Гс [177] и $B=3.9 \cdot 10^7$ Гс [173].

Длинноволновая область спектра в низком состоянии системы изучалась в [171] и [173] с целью выявить признаки вторичного компонента. Установлено, что интенсивность континуума быстро растет в красную сторону. Обнаружены абсорбционные полосы, которые отождествлены с полосами TiO. По глубине полос спектральный класс вторичного компонента оценен M3—4, а по распределению в континууме M6—7. В [173] отмечается, что величина цвета $H-K=0^m61 \pm 0^m13$, который был измерен в очень низком состоянии системы $V \geq 18^m$, больше цветов известных поздних M-карликов. Расстояние до системы оценено в 90—166 пк.

H 0139—68 — пока еще мало изученная система. По одним свойствам она похожа на другие поляры, по другим — отлична от них. Недостаток данных не позволяет говорить об изменении ее характеристик во времени и отделить их от изменений, связанных с изменением уровня блеска системы. Необходимы дальнейшие наблюдения.

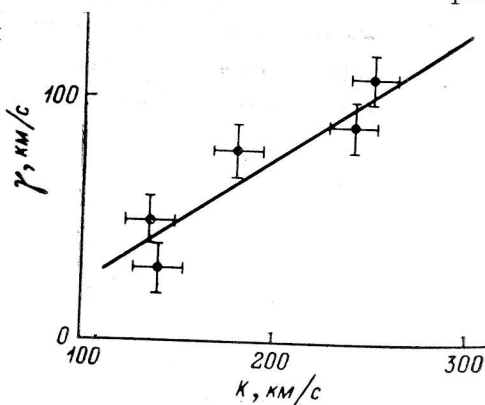


Рис. 31. Соотношение между полуамплитудой K и γ -скоростью кривых лучевых скоростей H 0139—68.

Е 2003+225

Источник Е 2003+225 был открыт обсерваторией HEAO-1 в 1977 г. и обозначен H 2005+22. При последующих наблюдениях с EINSTEIN его положение было уточнено, и по каталогу этой обсерватории он получил свое общепринятое

теперь название. Проведенные в конце 1982 г. поляризационные наблюдения показали, что E 2005+225 является двойной системой типа AM Her с периодом $3^h 42^m$. Это самый большой период среди известных к настоящему времени полярнов.

Долговременное изменение блеска (с 1934 по 1983 г) изучено в [178, 179]. У системы отмечено два состояния блеска: высокое (H) и низкое (L), как у всех полярнов. В высоком состоянии $\bar{V} \approx 15^m$, а в низком на $1^m - 2^m$ величины слабее. В конце 1984 г. отмечалось необычно глубокое низкое состояние, когда блеск понизился до $18^m.5$ (Андронов, частное сообщение). Большую часть времени система находится в H -состоянии, продолжительных L -состояний не наблюдалось.

ТАБЛИЦА 28
Фотометрические наблюдения E 2003 + 225

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
11, 12.04.1981	$15^m.5$	0.14—4 кэВ	180
19—24.09.1982	14.8	δ/ϕ ($\lambda_{ef}=6000$), UI	180
12.10.1983	14	0.04—6 кэВ 1100—3000	181
24, 26.07.1984	15	$UBVRI$	182
10, 11.06.1985	} 15.3	0.04—10 кэВ	183
14, 15.09.1985		0.04—10 кэВ	

Сведения о фотометрических наблюдениях E 2003+225 собраны в табл. 28, а кривые блеска приведены на рис. 32. Все описанные ниже результаты относятся к высокому состоянию блеска. Наблюдений в низком состоянии пока не проводилось. В жестком рентгеновском диапазоне (2—6 кэВ) кривая имеет широкий максимум, расположенный в области фаз 0.0—0.6. Примерно посередине $\phi \approx 0.35$ этот максимум прорезан глубоким узким минимумом, продолжительностью менее $0.1P$. Одновременно полученная кривая блеска в области мягкого рентгена (0.04—2 кэВ) имеет сложную изрезанную форму. В области $\phi = 0.35$, где в жестком диапазоне наблюдается узкий глубокий минимум, в мягком диапазоне счет падает до нуля. В области фаз 0.4—0.6 наблюдается всплеск излучения, по обе стороны от которого находятся широкие минимумы. Все рентгеновские кривые на рис. 32 заметно различны по форме, причем изменения могут происходить за промежуток времени менее года.

Кривые блеска в оптическом диапазоне имеют главное затмение в области фаз 0.4—0.5 и вторичное в области фаз 0.9—0.0. Глубина и ширина главного затмения заметно меняются. Например, глубина главного затмения в полосе U меняется от $0^m.8$ до $1^m.6$. Изменение в других полосах меньше. Средняя амплитуда $BVRI$ -кривых примерно $0^m.7 - 1^m$. Вторичное затмение также сильно меняется от очень мелкого или отсутствующего до глубокого, когда оно становится глубже главного затмения (рис. 32). В области фазы $\phi \approx 0.4$ иногда наблюдаются узкие глубокие минимумы (дипы) продолжительностью 1—5 мин и глуби-

ТАБЛИЦА 29
Наблюдения поляризации E 2003 + 225

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
21—25.09.1982	15^m	3200—8600	180	Линейная, пульс $\sim 2\%$
11—15.10.1982	15		180	
13—15.12.1982	15	UI	180	
11—13.06.1985	15.3	δ/ϕ	183	Круговая, от +1 до -8 в I , от +1 до -2 в U Линейная и круговая, как в [180]

ной до 0^m4 . Впервые они наблюдались в [180] на *B*-кривой, а впоследствии в широком диапазоне длин волн от *U* до *R* [182]. Сильные изменения амплитуды и формы кривых блеска отмечаются в работах [178] и [179], в которых изучались долговременные изменения кривых. Различия в амплитуде в разные сезоны доходит до 2^m , причем изменения амплитуды не коррелирует с изменением среднего блеска системы.

Кривые блеска искажены фликкерингом, который наблюдается в течение всего периода. В рентгеновском диапазоне его амплитуда составляет примерно 20 % от измеряемого потока [181]. Временная шкала фликкеринга, по-видимому, меняется. По наблюдениям [180], характерное время составляет 2—50 с и периодическая составляющая отсутствует, а по наблюдениям [181], оно больше 80 с. На оптических кривых блеска амплитуда фликкеринга невелика (0^m1-0^m2), но, как отмечено в [180], он кажется очень быстрым.

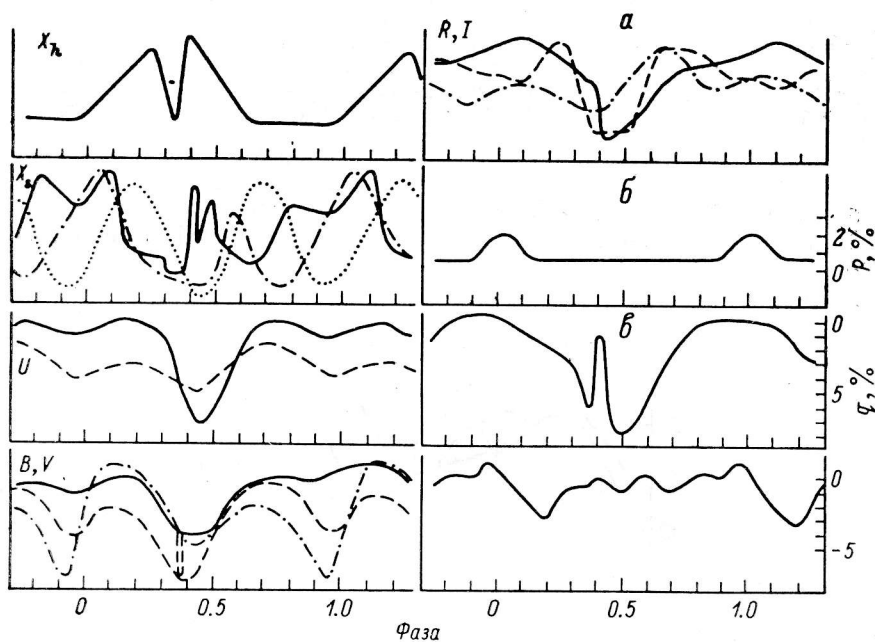


Рис. 32. Кривые блеска и поляризации E 2003+225.

Результаты измерения поляризации представлены в табл. 29 и на рис. 32. В течение периода наблюдается один пульс линейной поляризации. Пульс симметричный, довольно слабый ($\sim 2\%$) и широкий ($0.2P$). Вне пульса линейная поляризация не равна нулю и составляет примерно 0.5 %.

Круговая поляризация в полосе *I* в течение периода плавно меняется от 0—0.5 до -8% , достигая максимума на фазе 0.5. На фазе 0.4 поляризация резко уменьшается до 0 % на короткое время $\sim 0.1P$. В полосе *U* кривая круговой поляризации имеет сложную форму с несколькими небольшими экстремумами. Амплитуда изменения от $+1$ до -3% , т. е. гораздо меньше, чем в *I*-полосе. Из этих немногочисленных данных можно только заключить, что поляризация зависит от длины волны и что поляризованное излучение является красным.

Сведения о спектральных наблюдениях E 2003+225 собраны в табл. 30. Все спектральные наблюдения были проведены в высоком состоянии блеска системы. Спектр E 2003+225 обычен для полярных звезд: сильные эмиссионные линии H и He II, а также линии He I, бленда N III—C III $\lambda 4640$, линия Ca II $\lambda 3933$ слаба. Профили линий асимметричны. Величина и знак асимметрии меняются в течение орбитального периода.

Изменение эквивалентных ширин в течение орбитального периода изучалось в работах [181, 182, 185]. В октябре 1983 г. эквивалентные ширины *W* линий

водорода и некоторых линий HeI регулярно изменялись с фазой периода, причем в области фаз 0.4—0.5 наблюдалось уменьшение ширины (затмение

ТАБЛИЦА 30
Спектральные наблюдения E 2003 + 225

Дата наблюдений	Блеск V	R, Å	Область спектра	$\frac{\text{HeII}}{\text{H}\beta}$	Источник
25.06—18.08.1982	14 ^m 8	R=17.2	4000—6900	0.96	180
12.10.1983	14	R=3.2	30—130	—	181
		R=8	3000—6800	1	181
		R=16	4300—6500	0.8	181
		R=7	1200—3000	—	181
24.06.1984	16.3:	R=3.5	4000—5000	1.02	184
2—4.07.1984	15	R=3	3600—5200	0.9	185
24.07.1984	15	R=1.5	4000—5050	1	182
		R=7	1200—3100	—	182
4.06.1985	H	R=3.9	7550—8850	—	150
7.06.1985	H	R=15	6000—9500	—	156

в линии). Линия HeII λ 4686 и бленда λ 4640 не менялись с фазой, и затмения на фазах 0.4—0.5 у них не наблюдалось. В начале июля 1984 г. величины экви-

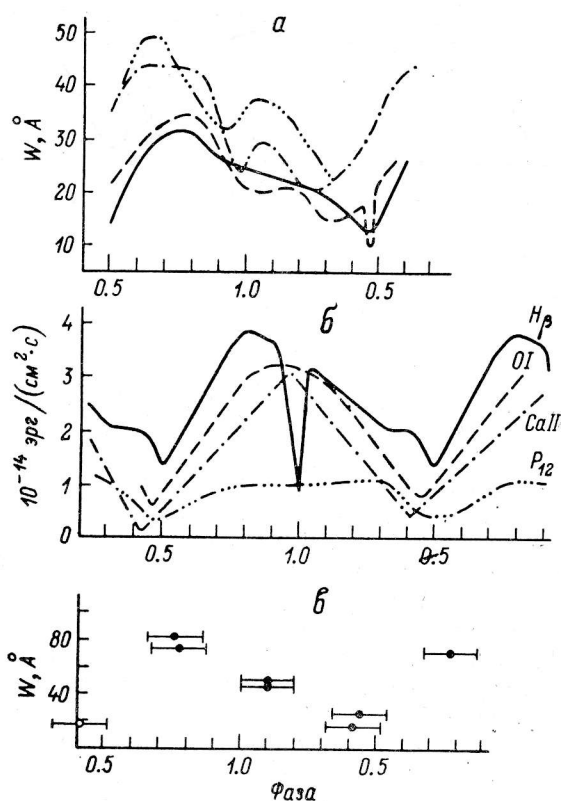


Рис. 33. Изменение эквивалентных ширин и потоков в линиях в течение орбитального периода E 2003+225.

a — линия H β ; б — H β и линии ИК-участка спектра; в — линии UV-участка.

валентных ширин менялись иначе: только у первых бальмеровских линий изменение эквивалентной ширины с фазой периодическое, у остальных линий кривая $W-\phi$ сильно искажается и изменений с фазой практически не наблю-

дается. Затмение в линиях на $\varphi \approx 0.4-0.5$ отсутствует, но появляется небольшой максимум эквивалентной ширины на $\varphi \approx 0.1$. Спустя примерно три недели, в конце июля 1984 г., форма кривой $\bar{W}-\varphi$ снова изменилась и затмение появилось в некоторых линиях, но теперь оно видно в линиях HeII и не видно в линиях HeI. На рис. 33, а сравнено изменение эквивалентной ширины \bar{W}_3 из вышеназванных работ. Видно, что как средняя величина \bar{W} , так и характер изменения в течение периода сильно меняются со временем. Причем изменения значительны даже от ночи к ночи. В [184] измерено изменение потока в линии H_β в течение периода (рис. 33, б). Оно похоже на изменение эквивалентной ширины, но минимумы в области фаз 0.4—0.5 и 0.9—1.0 усилились, особенно последний. Бальмеровский декремент и отношение интенсивностей линий HeII $\lambda 4686/H_\beta$ не остаются постоянными в течение периода: когда отношение HeII/ H_β максимально, отношение интенсивностей H_γ/H_β становится наибольшим (~ 2.5), и наоборот.

Ультрафиолетовая область спектра 1200—3000 Å изучалась в [181] и [182]. Спектр E 2003+225 в этой области обычен для полярных: сильные эмиссионные линии NV, SiIII и IV, CII и IV, HeII. Профили линий меняются в течение орбитального периода, но их асимметрия как будто бы меньше асимметрии линий оптического диапазона. Интенсивность и эквивалентные ширины этих линий меняются в течение орбитального периода (рис. 33, в). Средние за период эквивалентные ширины \bar{W} изменяются со временем. Сравнение кривых на рис. 33, в с 33, а, б показывает, что положение экстремумов у них приблизительно совпадает. В области спектра от 30 до 130 Å никаких линий не обнаружено [181].

Инфракрасный спектр E 2003+225 изучался в [150, 156]. В области 7000—9500 Å обнаружены абсорбционные детали, которые, по мнению авторов, принадлежат к спектру вторичного компонента. Это полосы TiO и дублет NaI $\lambda 8183$ и 8194 . Кроме этих абсорбций присутствуют эмиссионные линии водорода пашеновской серии, триплет OI $\lambda 7772, 7774, 7775$ и триплет CaII $\lambda 8498, 8542, 8662$ Å. Континуум плоский, что говорит о присутствии дополнительного излучения, кроме излучения вторичного компонента. Изменение потоков в эмиссионных линиях в течение орбитального периода имеет широкий минимум в области фаз 0.4—0.5 (рис. 33, б), где у линий оптического диапазона иногда наблюдается затмение. Интересно отметить, что в широком диапазоне длин волн от ультрафиолета до инфракрасной области минимум интенсивности линий имеет место в одной и той же области фаз 0.4—0.5, в то время как положение максимума интенсивности линий различно.

Распределение в континууме во всем наблюдавшемся диапазоне длин волн хорошо представляется степенным законом $F_\lambda \propto \lambda^{-\alpha}$, при этом $\alpha=1.3$ в максимуме орбитальной кривой блеска и $\alpha=1.6$ в минимуме. Рентгеновские данные хорошо представляются распределением абсолютно черного тела с $kT=25$ эВ и $N_H=5.6 \cdot 10^{19}$ см⁻², однако в области жесткого рентгена наблюдаемый поток больше, чем предсказывает такое распределение.

ТАБЛИЦА 31

Параметры кривых лучевых скоростей E 2003 + 225

Дата наблюдений	Источник	Пики				Основания			
		K	γ	φ_0	φ_{\max}	K	γ	φ_0	φ_{\max}
08.1982	180	370	+450	0.19	0.45				
10.1983	181	370	-460	0.20	0.45				
06.1984	184	500	+30	0.23	0.48	500	+30	0.05	0.28
07.1984	185	410	+40	0.17	0.43	490	+10	0.10	0.35
07.1984	182	310	-10	0.17	0.43	480	-20	0.12	0.35
06.1985	150					210*	+17*	0.53*	0.75*

* По абсорбционному дублету NaI.

Лучевые скорости измерялись в работах [180—182, 185, 150, 184]. Результаты измерения собраны в табл. 31. Скорости по разным линиям и разным элементам различаются между собой, но в табл. 31 приведены средние результаты. Главной особенностью кривых по пикам является большая переменность величины γ скорости, при этом амплитуды кривых меняются мало и положение экстремумов стабильно. В [185] наблюдалось искажение кривых в моменты экстремальной скорости. Искажение в максимуме скорости заметно также на кривой, полученной в [156], а в минимуме оно не заметно, но положение минимума кривой несколько смещено, что может быть результатом небольшого искажения кривой.

Лучевые скорости по основаниям линий, измеренные в работах [182, 185], близки. Но из этого факта преждевременно делать вывод, что они не изменяются со временем, так как все наблюдения выполнены в течение одного месяца. Кривые по пикам в это время тоже различаются не сильно. Кривые по основаниям отстают от кривых по пикам примерно на $0.1 P$.

Мукаи и Чарлес [150] измеряли лучевые скорости по абсорбционному дублету NaI $\lambda 8183-94$. Кривая имеет амплитуду меньше, чем кривые в оптической области, ее γ -скорость близка к нулю, и она смещена относительно кривой по основаниям примерно на $0.4 P$. Если дублет NaI возникает в атмосфере вторичного компонента, то малая амплитуда кривой и особенно ее фазировка указывают на то, что пики линий в оптическом диапазоне не могут возникать там же, т. е. в атмосфере вторичного компонента, что часто утверждается некоторыми авторами.

Лучевые скорости эмиссионных инфракрасных линий изменяются иначе [150]. Триплет CaII и пашеновская линия P_{12} имеют максимальную скорость в области фаз $0.4-0.5$, т. е. как пики линий в оптическом диапазоне. Фазу минимума определить трудно. Скорость, определенная по триплету OI, если и меняется, то в очень небольших пределах, менее ± 100 км/с.

Таким образом, все характеристики E 2003+225 оказались очень нестабильны. Кривые блеска во всех диапазонах излучения настолько сильно меняются во времени, что трудно говорить даже о средней кривой блеска, особенно в мягком рентгене. Изменение эквивалентных ширин и интенсивностей линий в течение периода также изменяется во времени. Одновременно меняются вид бальмеровского декремента и состояние возбуждения спектра. Так как блеск системы все это время менялся незначительно, то наблюдаемые изменения связаны с изменением физических условий в областях, излучающих эмиссионные линии и с изменением количества светящегося вещества. Большая переменность кривых блеска указывает на перераспределение источников излучения континуума или изменение количества вещества, светящегося в континууме. Наблюдаемое временами искажение кривых лучевых скоростей пиков линий указывает на присутствие в системе светящегося в линиях вещества, имеющего вектор скорости, отличный от орбитального. Таким образом, мы снова приходим к выводу об околосферной оболочке с переменной во времени структурой и состоянием возбуждения. Необычные изменения кривых лучевых скоростей пиков линий можно объяснить какими-то глобальными движениями внешних частей оболочки.

CW 1103+254

Объект был открыт в марте 1980 г. при обзоре Северного неба с объективной призмой. В начале он был классифицирован как старая Новая [186] и лишь позднее Стокман и др. [187] показали, что он является системой типа AM Her.

Долговременные изменения блеска (с 1983 по 1987 г.) изучены в [188—190], где показано, что система имеет два уровня блеска: высокое (H) со средней величиной $m_B \approx 15^m7$ и состояние пониженной яркости (L) $m_B \approx 16^m6$.

Сводка фотометрических наблюдений приведена в табл. 32, а кривые блеска схематически показаны на рис. 34. Форма орбитальных кривых блеска не ме-

ТАБЛИЦА 32
Фотометрические наблюдения CW 1103 + 254

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
17.04.1982	16 ^m 5	$UBVRI$	187
19—21.04.1982	16.1	UBV	191
28.05.1982	16.5	UVR	187
8—10.06.1982		$\delta/\phi, JH$	192
22, 23.03, 5.05.1983		$\delta/\phi, JHK$	192
16.06.1983		JHK	192
9, 10.12.1983		0.04—10 кэВ	193
6,7,9.01.1984		0.04—10 кэВ	193
03.1984	H	JHK	155
04—06.1985	15.7	δ/ϕ	194

няется при разном блеске системы. В L -состоянии кривая в полосе U представляет собой синусоиду небольшой и переменной амплитуды $\Delta U = 0^m32 \div 0^m5$. Кривая в B -полосе похожа на U -кривую, но имеет немного большую амплитуду: $\Delta B = 0^m42 \div 0^m75$. Начиная с полосы V и далее в более длинноволновой области вид кривых блеска меняется, в области фаз 0.7—1.0 наблюдается резкое и значительное увеличение блеска (яркая фаза). Разница между средним блеском

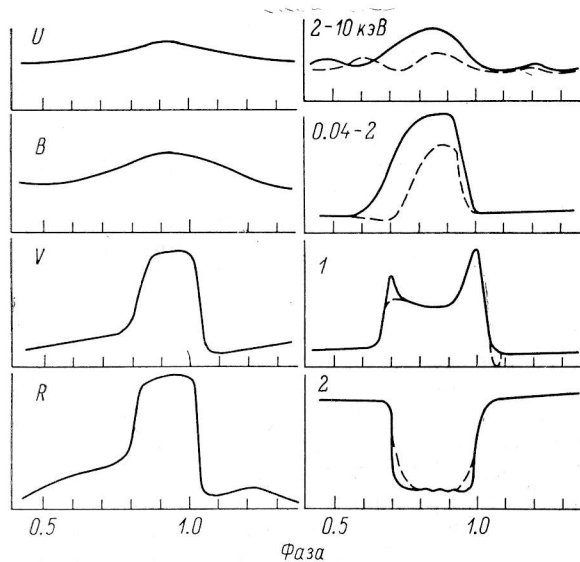


Рис. 34. Кривые блеска и поляризации CW 1103+254.

слабой и яркой фаз кривой блеска в низком состоянии системы составляет $\Delta V = 1^m5 \div 1^m33$, $\Delta R = 2^m14$, $\Delta I = 2^m22$. В высоком состоянии системы эти величины равны: $\Delta U = 0^m47$, $\Delta B = 0^m6$, $\Delta V = 1^m48$, $\Delta J = 1^m4$, $\Delta H = 1^m3$, $\Delta K = 0^m7$. Видно, что в полосах UBV амплитуды кривых блеска близки, а в длинноволновой области ситуация менее ясная. На кривых блеска заметен фликкеринг, его амплитуда наибольшая во время яркой фазы, 0^m2-0^m3 .

В [192] отмечается, что амплитуда яркой фазы переменна: в белом свете изменения доходят до 0^m9 , а в полосе H до 0^m7 . Продолжительность яркой фазы также меняется, на основании чего делается заключение о каком-то типе прецессионного движения в системе. Во время слабой фазы кривой блеска наблюдаются изменения в полосах J , H и K до 0^m2 [192]. В это время наблюдаемые цвета близки к цветам поздних M -карликов, поэтому предполагается, что инфракрасное излучение в слабой фазе исходит от вторичного компонента, искаженного приливным действием главного.

Рентгеновские кривые блеска CW 1103+254 получены в [193] (рис. 34) В мягком рентгене (0.04—2 кэВ) кривая похожа на V-кривую, однако амплитуды и ширины яркой фазы различаются значительно сильнее, чем наблюдается у кривых в оптике. В жестком рентгене (2—10 кэВ) кривая больше похожа на B- и U-кривые, но тоже очень переменна по ширине и амплитуде.

ТАБЛИЦА 33
Наблюдения поляризации CW 1103 + 254

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник	Поляризация, %
Линейная поляризация				
31.03.1982	16 ^m 3	5600—8600	187	Два пика 16 и 8—12
17—19, 28.04.1982				
24.04—17.05.1985	16.5	3200—9200	194	Пик около 12, второй четко не выражен, а иногда отсутствует
13.06.1985	16.5	5600—9200	194	
19, 20.06.1985	16.5	3200—5700	194	
Круговая поляризация				
22.03.1982		3200—8600	187	—20 (в яркой фазе)
23.03.1982		6300—8600	187	—18.5
		3200—4400	187	—3.5
		4000—7000	195	От 0 до —25 (спектрополяриметрия)
24.03.1982	16.5	3200—3900, VR	187	—20 в V и R —1.1 в U
30.04.1982		б/ф	187	—19
8—10.06.1982		б/ф, JH	192	—18 б/ф; —7 в J; —2 в H
5.05.1983		б/ф	192	От 0 до —15 (спектрополяриметрия)
7.05.1983		3500—6800	192	
24.04—17.05.1985	16.5	3200—9200	194	В среднем —18
13.06.1985	16.5	5600—9200	194	
19, 20.06.1985	16.5	3200—5700	194	

Сведения о поляризационных наблюдениях собраны в табл. 33, а кривые поляризации схематически показаны на рис. 34. Все нижесказанное относится к общим состояниям блеска системы, так как в наблюдениях не обнаружено заметных различий в величине и изменении поляризации в течение орбитального периода в зависимости от уровня блеска системы. Вне яркой фазы кривой блеска круговая поляризация, по данным [187], равна нулю, а по данным [192], возможно, существует небольшая положительная поляризация. В момент наступления яркой фазы кривой блеска степень круговой поляризации резко возрастает до примерно —20 %. Величина максимальной поляризации меняется, и изменения достигают 5 % в разные ночи. Изменение круговой поляризации

ТАБЛИЦА 34
Спектральные наблюдения CW 1103 + 254

Дата наблюдений	Блеск V	D, Å/мм; R, Å	Область спектра	$\frac{HeII}{H\beta}$	Источник
14.04.1982	16 ^m 5	R=1.5	4050—5250	0.61	187
13, 19, 30.06.1982	H	R=2	4100—5000	0.3—0.5	192
4.01.1983		R=8	3000—7000		192
2.01.1985		R=3	3500—5300		0.7
5.06.1985	H	R=3.9	7550—8840	—	150
7.06.1985	H	R=15	6000—9500	—	156
3.01.1986	H	D=100	3500—5500	0.5—0.7	196
19.04.1986	H	D=100	3500—5500		196

с длиной волны показано на рис. 14. Максимальная поляризация (-24%) достигается на 6000 \AA , а в области $\lambda < 4000 \text{ \AA}$ она равна нулю (рис. 14).

На кривой линейной поляризации в течение орбитального периода наблюдается один сдвоенный пульс (рис. 34). Максимумы линейной поляризации приходятся на начало и конец яркой фазы кривой блеска. Первый максимум на $\varphi = 0.75$ имеет переменную амплитуду $6-12\%$ и иногда отсутствует. Второй максимум на $\varphi = 0.0$ устойчивый и достигает 16% . Более сильный и устойчивый максимум используется для вычисления эфемерид системы. Вне яркой фазы поляризация не равна нулю и составляет $0.5-2\%$. Крошпер [194] отмечает зависимость амплитуды пульса от длины волны: в красной области спектра амплитуды примерно вдвое больше, чем в голубой. Кроме того, сразу после окончания главного пульса линейной поляризации она понижается до 0% на короткое время (дип на $\varphi = 0.05$). В [187] такого дипа не наблюдалось. Во время сильной поляризации хорошо определяется положение позиционного угла плоскости линейной поляризации и его изменение с фазой.

Сведения о спектральных наблюдениях собраны в табл. 34. Спектр CW 1103+254 типичен для полярнов. Он содержит сильные эмиссионные линии H, HeI и II, бленду CIII—NIII $\lambda 4640$, линию CaII $\lambda 3933$ и слабые линии FeII. Последние видны не всегда.

В апреле 1982 г., когда система находилась в низком состоянии блеска, наблюдалась сильная переменность эмиссионного спектра в течение орбитального периода [187]. Менялись профили, ширины и интенсивности линий, причем узкие пики были смещены всегда в красную сторону относительно широких оснований. Интенсивности балмеровских линий изменялись синусоидально и яркая фаза ничем не была выделена. Спустя два месяца вид спектра изменился [192]: вне яркой фазы кривой блеска линии стали почти симметричны, а во время яркой фазы они были раздвоены. Величина раздвоения максимальна в середине яркой фазы. В январе 1985 и 1986 гг. система находилась в высоком состоянии блеска. Характеристики эмиссионного спектра отличаются от описанных выше [196]. Профили линий асимметричны, но асимметрия гораздо меньше наблюдавшейся в [187]. Знак асимметрии меняется в течение орбитального периода, а смещение пиков относительно оснований наблюдается как в красную, так и в синюю сторону. Раздвоения линий не наблюдалось. Эквивалентные ширины линий меняются в течение периода, и область яркой фазы кривой блеска в этих изменениях никак не выражена.

Инфракрасная область спектра изучена Мукаи и Чарлесом [150, 156]. В ней присутствуют эмиссионные линии триплета CaII $\lambda 8498, 8542, 8662$, триплета OI $\lambda 7772 - 5$, линии пашеновской серии, а также абсорбционный дублет NaI $\lambda 8183 - 94$ и полоса TiO $\lambda 7600$. Спектральный класс вторичного компонента оценен M5—6. Изменение потока в инфракрасных эмиссионных линиях не похоже на изменение в оптическом диапазоне: линии P_{12} и триплета OI почти не изменяются в течение орбитального периода, а линии CaII, возможно, меняются синусоидально, но с периодом вдвое короче орбитального. Абсорбционные детали спектра видны только во время слабой фазы кривой

ТАБЛИЦА 35

Параметры кривых лучевых скоростей CW 1103 + 254

Дата наблюдений	Источник	Пики				Основания				По каким линиям измерено
		K	γ	$\varphi \text{ min}$	$\varphi \text{ max}$	K	γ	$\varphi \text{ min}$	$\varphi \text{ max}$	
04.1982	187	260	+60	0.55	0.00	450	-100	0.38	0.86	H
06.1982	192	300	+100	0.64	0.13	610	-80	0.40	0.90	H, HeII
01.1985	196	180	+450	0.52	0.00	400	+110	0.80	0.20	H ₂ HeII $\lambda 4686$
		100	+350	0.62	0.08					
06.1985	150	260	+100	0.70	0.20	380	+40	0.92	0.33	NaI (абсорбция) H, HeII
01.04.1986	196	340	+40	0.98	0.40					

блеска. Кривые лучевых скоростей показаны на рис. 35, а их характеристики приведены в табл. 35.

По наблюдениям [187], кривые лучевых скоростей изменяются синусоидально, причем кривая по пикам сдвинута относительно кривой по основаниям на $0.15P$. В момент яркой фазы кривой блеска кривая лучевых скоростей по пикам искажена: скорость резко возрастает до 500 км/с (рис. 35, а, линия 1). Спустя два месяца наблюдались синусоидальные кривые без каких-либо искажений [192] (рис. 35, а, линия 2). В 1985 г. кривая по пикам смещена относительно кривой по основаниям на $0.25P$ и сильно искажена в области яркой фазы

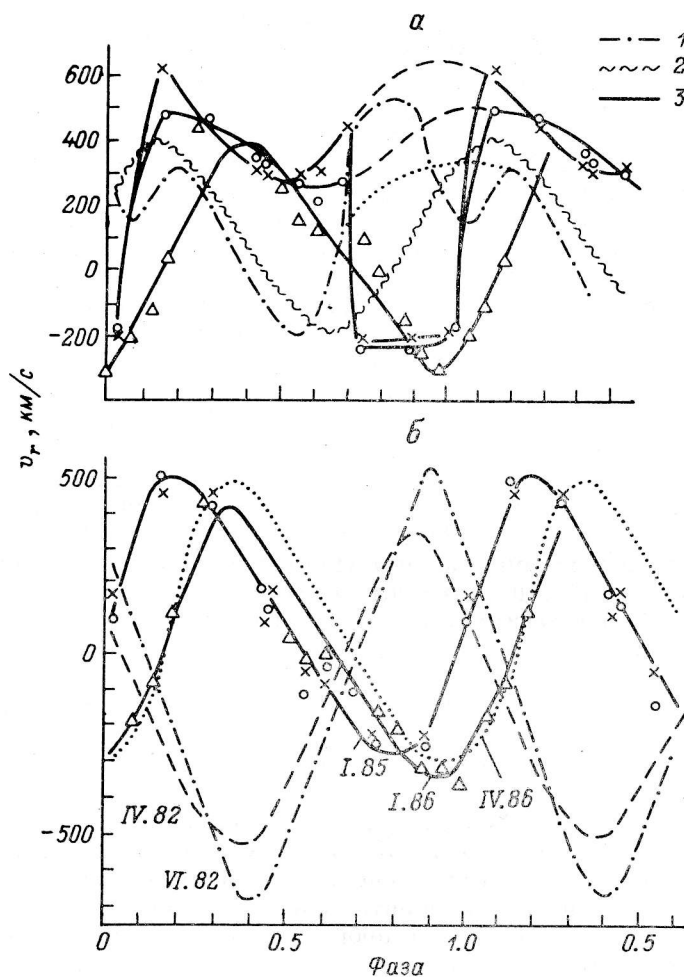


Рис. 35. Кривые лучевых скоростей CW 1103+254 по пикам линий (а) и по основаниям (б).

кривой блеска, но теперь скорость резко понижается до -250 км/с . Кроме того, в 1985 г. заметно различие между кривыми лучевых скоростей по водороду и HeII по амплитуде и фазам экстремумов [196] (рис. 35, а, линии 3 по крестикам и кружкам). В 1986 г. форма кривой по пикам сильно изменилась: амплитуда увеличилась примерно в 2 раза, и никаких искажений не наблюдается [196] (рис. 35, а, линия 3 по треугольникам).

При сопоставлении кривых лучевых скоростей по основаниям линий обнаружилось их свойство сдвигаться в одном направлении. На рис. 35, б видно, что кривые все время сдвигаются в одну сторону — в сторону возрастания фаз экстремумов. Средняя скорость изменения фазы $0.11-0.12P$ в год, что указывает на существование в системе еще одного периодического движения с характерным временем 8—9 лет.

У кривых лучевых скоростей по пикам линий не наблюдается систематического сдвига по фазе со временем, а изменение их формы указывает скорее на изменение ориентации светящегося газа относительно линии зрения.

Кривая лучевой скорости, построенная по абсорбционному дублету NaI, имеет форму синусоиды [150]. Она совершенно не похожа на искаженные кривые по пикам линий, наблюдавшиеся в том же 1985 г. в [196]. Кроме того, у нее больше амплитуда и меньше γ -скорость (табл. 35). Если линии NaI возникают в атмосфере вторичного компонента, то пики эмиссионных линий оптического диапазона должны возникать где-то в другом месте системы. Кривая по эмиссионному триплету CaII похожа на кривую по NaI, а кривые по OI и P_{12} тоже похожи, но сдвинуты по фазе на 0.1 и 0.25P соответственно.

Фотометрические наблюдения показали, что кривые блеска не испытывают больших изменений формы и амплитуды. Исключение, может быть, составляют рентгеновские кривые блеска, но наблюдений тут пока мало. Примерно то же можно сказать о поляризационных измерениях. Зато спектральные наблюдения дали доказательства большой переменности спектральных характеристик системы. Очень велики изменения профилей линий, наблюдаемых в разное время, изменения интенсивностей и эквивалентных ширин эмиссионных линий в течение орбитального периода. Все это означает, что физические условия в областях формирования эмиссионных линий сильно изменяются со временем.

Кривые лучевых скоростей по пикам линий иногда бывают очень сильно искажены. Это указывает на изменение ориентации светящихся газовых масс относительно линии зрения. Систематический сдвиг кривых лучевых скоростей по основаниям линий обнаружил существование в системе дополнительного периодического движения с периодом 8—9 лет.

Таким образом, наблюдения CW 1103+254 показали большую переменность физических условий и геометрии области формирования эмиссионных линий. Если это O3O, то она, по-видимому, не столь мощная и плотная как у других полярных, так как не наблюдается значительных искажений в континууме и кривых блеска.

Е 1405—451

Е 1405—451 был открыт как источник мягкого рентгеновского излучения [197]. Позднее он был отождествлен с двойной системой, имеющей период 101.5 мин [198]. Принадлежность к системам типа AM Her была доказана в 1982 г., когда Таппа [199] обнаружил высокую степень поляризации оптического излучения этой системы.

Сводка фотометрических наблюдений Е 1405—451 приведена в табл. 36. По данным этой таблицы построена долговременная кривая блеска (рис. 36). Видно, что средний блеск системы меняется в пределах $15^m-15^m.5$. Весной 1983 г. блеск ненадолго понизился примерно на $1^m.5$. Как будет показано ниже, это понижение блеска сопровождалось спектральными изменениями, характерными для низкого состояния систем типа AM Her. Можно поэтому предположить, что Е 1405—451, как все известные полярные, имеет высокое (H) и низкое (L) состояния блеска.

Орбитальные кривые блеска в высоком состоянии системы показаны на рис. 37. Рентгеновские кривые блеска очень переменны по форме и амплитуде. Результаты Осборна и др. [206] показывают, что амплитуда кривых в разных диапазонах может изменяться в 2—4 раза. Особенно большая переменность наблюдается в области фазы 0.0, где минимум может переместиться или смениться максимумом. Кривые блеска в мягком рентгене более переменны, чем в жестком. Но при всех изменениях в центральной части минимума близ фазы 0.0 интенсивность в мягком рентгене равна нулю, т. е. счет прекращается полностью. В более жестком диапазоне (1—10 кэВ) минимум на фазе 0.0 также меняется по форме и глубине, а иногда он почти пропадает. Но в отличие от мягкого диапазона его глубина не доходит до нуля и примерно равна глубине широкого минимума на фазе $\varphi=0.5$.

В оптическом диапазоне форма кривых иная. В U -полосе кривая блеска имеет вид синусоиды малой амплитуды ($0^m.8-0^m.1$) с минимумом на $\varphi \approx 0.0$.

ТАБЛИЦА 36
Фотометрические наблюдения E 1405—451

Дата наблюдений	Блеск V	Полоса регистрации	Источник
15.07.1975	15 ^m	0.1—0.28 кэВ	197
3—7.02.1978	15	0.18—0.48 кэВ	197
23.01.1980	15	0.2—4 кэВ	197
24—28.06.1981	15.5	б/ф, U	198
16, 17.05.1982	15.1	б/ф, VJH	200
02.1982—08.1984	15—15.5	б/ф, $UBVRI$	201
18, 19.21.06.1982	H	V	168
13.03.1983	16.8	$UBVRI$	202
26.04.1983	15.5	$BVIJHK$	202
5.06.1983	15.4	б/ф	203
23, 24.03.1984	15	$BVIJHK$	204
		0.02—10 кэВ	
28.03.1984	15.6	UV	203
11.05.1985	H	б/ф	205
2, 3.08.1985	15.5	0.05—7.5 кэВ, V	206
5, 6.03.1986	15.5	0.05—7.5 кэВ, V	206
30, 31.05 и 6.06.1986		8.4 ГГц	207

На фазе минимума наблюдался глубокий и узкий дип, продолжительностью 2.5 мин и глубиной 0^m25 [198]. Начиная с полосы B минимум на фазе 0.0 становится широким и глубоким, а в области фазы 0.5 наблюдается широкий и пологий максимум блеска, иногда со вторичным минимумом. Кривые в полосах R , J , H похожи на I -кривую, поэтому на рис. 37 не приводятся.

В оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах форма кривых блеска и их амплитуда не остаются постоянными. Иногда они выглядят как правильные синусоиды, но чаще имеют форму более сложную. Выше сообщалось о наблюдении кратковременных глубоких дипов в U -полосе. Аналогичные дипы

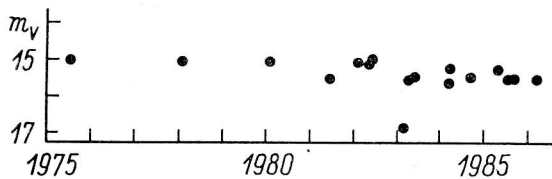


Рис. 36. Долговременное изменение блеска E 1405—451.

наблюдались в других полосах в августе 1983 г., но их продолжительность была в 2—4 раза больше [201]. На фазе $\varphi=0.5$ иногда появляется вторичный минимум [201]. Его глубина и ширина увеличиваются с увеличением длины волны. Глубина и ширина главного минимума на фазе $\varphi=0.0$ также значительно изменяются, и временами он становится асимметричным. Изменение блеска вне главного минимума не всегда имеет четко выраженный максимум на $\varphi=0.5$, иногда блеск остается примерно постоянным на протяжении около полупериода. На рис. 37 штрихпунктиром показаны кривые блеска, полученные одновременно в марте 1984 г. [204]. Характерная асимметрия главного затмения заметна на всех кривых, начиная с области мягкого рентгена. В полосах JHK глубина затмения быстро уменьшается, так как сильно развившаяся асимметрия делает кривые блеска почти плоскими. Наибольшая амплитуда кривой в V равна 1^m22, а продолжительность затмения в B — 0.48 P . Таким образом, существенной чертой E 1405—451 является переменность кривых блеска во всех диапазонах.

В мае 1986 г. от E1405—451 наблюдались вспышки в радиодиапазоне на волне 8.4 ГГц (~3.6 см) [207]. Это вторая система, у которой зарегистрированы радиовспышки.

Во всех фазах кривых блеска наблюдается фликкеринг амплитудой 0^m2-0^m3 на шкале времени порядка 1 мин и менее [198]. В мягком рентгене в максимуме кривой блеска наблюдались осцилляции с периодом ~ 5 мин и амплитудой $\sim 15\%$ [204]. Кроме того, у E 1405—451 наблюдаются квазипериодические колебания с периодом 2 с и временем когерентности около 1 мин. Впервые они были наблюдаемы в [88], а позднее в [201, 208] и [209]. По измерениям [209], цвет осциллирующего излучения очень красный, но иногда осцилляции наблюдаются также в *B*-полосе. Доля осциллирующего излучения наибольшая во время максимума орбитальной кривой блеска, хотя изменения общего блеска и доли пульсирующего излучения противоположны в течение максимума. Пульс осциллирующего излучения оказался асимметричным. В [204] также наблюдали квазипериодические осцилляции в *B*-полосе с периодом 1.94 с и амплитудой $\sim 1\%$ и в мягком рентгене с периодом 3.85 с. Эти осцилляции наблюдались однажды и существовали не одновременно.

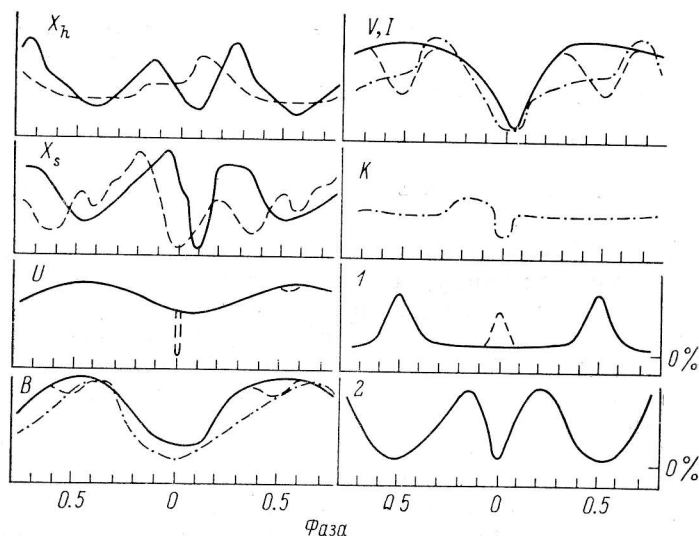


Рис. 37. Кривые блеска и поляризации E 1405—451.

Кривые, изображенные штрихпунктирной линией, получены одновременно.

Все вышесказанное относится к высокому состоянию блеска системы. Немногочисленные сведения о низком состоянии системы приводятся в [210]. В низком состоянии блеск либо не модулирован, либо амплитуда уменьшилась. Например, в *V*-полосе амплитуда уменьшилась до 0^m3 по сравнению с $\sim 1^m8$ в высоком состоянии.

Сведения о наблюдениях поляризации приведены в табл. 37, а кривые поляризации схематически показаны на рис. 37, 1 и 2. В течение орбитального периода наблюдаются два пика линейной поляризации: на фазах $\varphi=0.0$ и 0.5 . Реальность пика $\varphi=0.0$ ставится под сомнение. Впервые он наблюдался в [199], и позднее его существование было подтверждено в [168]. Однако в последующих работах он не наблюдался. В одной из наиболее подробных работ по исследованию поляризации E 1405—451, выполненной Кроппером и др. [201], этот пик считается нереальным. При усреднении записей нескольких периодов он никогда не появлялся. Следует отметить, что из трех сетов наблюдений в [168] пик на $\varphi=0.0$ проявился только один раз. Пик на $\varphi=0.5$ реален, но переменен по амплитуде и продолжительности. Его амплитуда меняется от 0 до 9%, а полуширина от 0.07 до $0.1P$. В 1983 г. он был не виден на отдельных записях, а при усреднении 10 записей стали заметны два пика на фазах 0.3 и 0.6 с величиной максимума 1.8% . Через некоторое время пик на $\varphi=0.3$ ослаб и исчез, а пик на $\varphi=0.6$ увеличился до 6% . Пик на фазе 0.5 лучше заметен в *V*- и красной области спектра, но иногда виден и в голубой области [201, 203]. Средний уровень линейной поляризации вне пика примерно постоянный и составляет $1-1.5\%$.

ТАБЛИЦА 37
Наблюдения поляризации E 1405—451

Дата наблюдений	Полоса	Источник	Поляризация, %
Линейная поляризация			
18, 19, 21.06.1982	V	168	10
5.06.1983	б/ф	203	Нет пика
28.03.1984	UV	203	9
02.1982—08.1984	б/ф 3500—5500 5500—9000	} 201	6 % в 1983 г. два слабых пика ~1.8 % на $\varphi=0.3$ и 0.6
Круговая поляризация			
16.05.1982	б/ф, JH	200	0—17, в J и H
7.06.1982	VJ	200	0—30 в V
02.1982—08.1984	б/ф 3500—5500 5500—9000	} 201	0—20, 40

Примечание. Все наблюдения выполнены при высоком блеске [системы] $V = 15^m + 15^m.5$.

Кривая круговой поляризации напоминает кривую блеска в рентгеновском диапазоне: широкий минимум в области фазы 0.5 и широкий максимум, продолжающийся несколько больше полупериода и прорезанный глубоким узким минимумом на $\varphi=0.0$. В течение орбитального периода поляризация всегда положительная и может достигать в V-полосе 40 %. Амплитуда кривой, по-видимому, наибольшая в V и уменьшается в обе стороны длин волн. Форма кривой также не остается постоянной: меняются амплитуда и глубины минимумов. Например, в V-полосе амплитуда меняется от 20 до 40 %. Во время узкого глубокого минимума на $\varphi=0.0$ поляризация обычно равна 0 %, в то время как глубина минимума на $\varphi=0.5$ составляет 5—10 %. В [201] отмечаются случаи, когда глубины обоих минимумов становятся одинаковыми (~10 %). Изменение максимальной поляризации с длиной волны показано на рис. 14.

Таким образом, кривые поляризации как линейной, так и круговой меняются со временем по амплитуде и фазе. Кроппер и др. [201] отмечают, что эти временные изменения находятся в противофазе. То есть при увеличении амплитуды пика линейной поляризации максимум круговой поляризации понижается и наоборот. Все вышесказанное относится к высокому состоянию блеска системы. Измерений поляризации в низком состоянии пока не имеется.

ТАБЛИЦА 38
Спектральные наблюдения E 1405—451

Дата наблюдений	Блеск V	D, Å/мм; R, Å	Область спектра	$\frac{HeII}{H\beta}$	Источник
7.06.1981	15 ^m .5	D=57	3300—6800	1.2	198
3.01.1982	15.8	R=6, 8	1100—3000	—	211
25, 29.03.1982	15.1	R=1	4100—5200	0.9	212
17.05.1982	15.1	R=3.5, 1.3	3500—6700	0.9	212
16.02.1983	15	R=6, 8	1100—3000	—	202
		R=8, 5	4000—7000	0.3	
1.03.1983	16.8	R=6, 8	1100—3000	—	202
9, 10.03.1983	16.8		4000—5900	0.1:	202
26.04.1983	15.5	R=6, 8	1100—3000	—	202
22.01.1984	H	R=6	1150—3200	—	213
24.03.1984	15	R=6	1100—1950	—	210
29.03.1984	15.6	R=19	4000—7900	0.9	214
30.03.1984	15.6	R=9	4300—6700	0.9	214
11.05.1985	H	R=10	3400—7800	0.9	205

Сведения о спектральных наблюдениях E 1405—451 собраны в табл. 38. В высоком состоянии блеска спектр E 1405—451 обычен для полярных: сильные эмиссионные линии H, HeI и II, линия CaII $\lambda 3933$ и бленда CIII—NIII $\lambda 4640$. Профили линий асимметричны, величина и знак асимметрии меняются в течение орбитального периода. Интенсивности и эквивалентные ширины эмиссионных линий изменяются в течение орбитального периода [202, 212]. Изменения имеют наибольшую амплитуду в линии H $_{\alpha}$ и уменьшаются у линий более высоких номеров. Интенсивность линии HeII $\lambda 4686$ меняется незначительно. Амплитуда изменений меняется от ночи к ночи и даже от периода к периоду, что можно видеть на рис. 38. В [205] сообщается о присутствии в оптическом спектре во время максимума блеска абсорбций $\lambda 6050$, 5500 , первую из которых авторы считают зеемановской компонентой H $_{\alpha}$, но возникающей не в атмосфере белого карлика, а в холодном веществе, окружающем ударную область. Абсорбцию на $\lambda 6050$ можно заметить на записи спектра, полученной почти годом раньше [214]. Абсорбция на $\lambda 5500$ нам кажется нереальной.

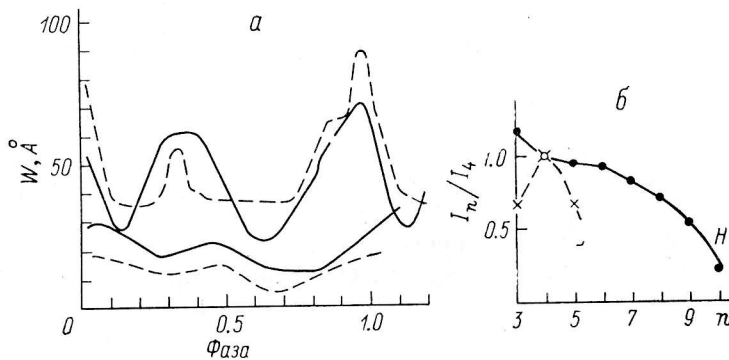


Рис. 38. E 1405—451.

a — изменение эквивалентных ширин линий H $_{\beta}$ и H $_{\gamma}$ в течение орбитального периода; *b* — изменение вида бальмеровского декремента при H- и L-состояниях системы.

В ультрафиолетовой области спектра присутствуют обычные для полярных сильные эмиссионные линии высокого возбуждения: OIII и IV, SiIV, CII и IV, AIII, HeII, MgII, NV. У наиболее сильных из них CIV $\lambda 1550$ и HeII $\lambda 1640$ заподозрены профили типа P Cуг [211], однако в [202] и [213] этот результат не подтвержден. Средние интенсивности эмиссионных линий как в ультрафиолете, так и в оптической области сильно изменяются со временем, и эти изменения не всегда связаны с изменением интенсивности блеска системы. Такало и Ноусек [213] не обнаружили значимых изменений интенсивностей линий в течение орбитального периода, но они отмечают значительное изменение их профилей. Как у линий оптического диапазона, можно было выделить пик и широкое основание.

Распределение в континууме в широком диапазоне от ультрафиолета до $\lambda = 10^4$ Å можно представить комбинацией степенного и плоского континуума $F_{\lambda} = C_1 \lambda^{-4} + C_2 \lambda^{-1}$ [202].

Все вышесказанное относится к высокому состоянию блеска системы. В низком состоянии она наблюдалась Мараши и др. [202] в марте 1983 г., когда средний блеск системы ненадолго понизился примерно на 1^m5. В оптическом спектре эмиссионные линии сильно ослабли и многие почти исчезли, а в ультрафиолетовой области, вероятно, остались слабые линии CIV $\lambda 1550$ и OIII $\lambda 1662$. В оптической области с большой неуверенностью можно было предположить существование зеемановских абсорбционных компонент линии H $_{\beta}$. Континуум в низком состоянии может быть представлен суммой излучений белого карлика с $T = 26500$ K и вторичного компонента с $T = 3000$ K. Однако VRI-фотометрия показывает, что вклад остаточной аккреционной колонки еще велик, но его трудно отделить от вклада вторичного компонента. На рис. 38 сравнены бальмеровские декременты в высоком и низком состояниях блеска системы. Видно, что с понижением блеска условия в среде, излучающей эмиссионные линии, изменились. Вероятно, она стала более плотной.

ТАБЛИЦА 39

Параметры кривых лучевых скоростей E 1405—451

Дата наблюдений	Источник	K	γ	φ_{\max}	φ_0	Примечание	
П и к и							
03, 05.1982	212	340	-44	0.20	0.95	Узкий компонент NV CIV HeII MgII $\lambda 1530$ (CIV?)	
	212	235	+10	0.40	0.11		
01.1984	213	380	+20	0.3	0.00		
		260	-100	0.3	0.96		
		300	+230	0.3	0.98		
		300	-150	0.35	0.96		
03.1984	214	220	-3100	—	0.96		
		260	-90	0.24	0.98		
О с н о в а н и я							
03, 05.1982	212	600	+120	0.02	0.78		
03.1984	214	390	+25	0.03	0.75		

Лучевые скорости во время высокого состояния блеска системы измерялись в [212—214]. Кривые лучевых скоростей представляют собой синусоиды. Их характеристики собраны в табл. 39. Из нее видно, что амплитуды и γ -скорости кривых изменяются со временем, что часто наблюдается у полярнов. Кривая по пикам опережает кривую по основаниям примерно на $0.2P$. В [212] отмечается сложная многокомпонентная структура профилей эмиссионных линий, которая меняется в течение периода. Отдельные максимумы на профиле появлялись и исчезали. Для одного из таких максимумов, существовавшего достаточно долго, построена кривая лучевых скоростей. Ее характеристики приведены в табл. 39 под названием «Узкий компонент». Эта кривая имеет меньшую амплитуду, чем кривые по пикам и основаниям, и сильно смещена относительно них как по фазе, так и по γ скорости. У кривых по ультрафиолетовым линиям очень большой разброс величины γ -скорости. По мнению авторов [213], это означает, что линии возникают из нескольких областей, излучающих в объеме системы.

Таким образом, система E 1405—451 имеет переменные во времени характеристики, что наблюдается у других полярнов. Меняется форма и амплитуда кривых блеска, причем особенно переменна кривая в мягком рентгене. В оптическом и инфракрасном диапазонах на кривых иногда появляется вторичное затмение, глубина которого увеличивается с увеличением длины волны. Кроме того, иногда близ фазы 0.0 появляются узкие и глубокие затмения (дипы), которые существуют непродолжительное время. Такая переменность кривых блеска указывает на переменность в распределении излучающего и поглощающего в континууме вещества. Переменность во времени интенсивностей и эквивалентных ширин эмиссионных линий, бальмеровских декрементов указывает на изменение физических условий в областях формирования линий и изменение количества светящегося вещества. Переменность профилей линий и кривых лучевых скоростей указывает, кроме того, на изменение структуры светящихся в линиях областей. Таким образом, в случае E 1405—451 мы приходим к выводу о существовании в системе околосреднего вещества, которое неравномерно распределено в ее объеме. Изменение условий и движений в нем позволяет объяснить переменность наблюдаемых характеристик системы.

H 0538+608

Это недавно открытая и мало изученная система, первоначально отмеченная как слабый рентгеновский источник [215]. Рентгеновская кривая блеска не была получена из-за слабости источника в то время (сентябрь 1977 и 1978 гг.).

Позже [216] отмечалось, что поток в рентгене и оптике явно меняется с орбитальным периодом.

Просмотр пластинок Гарвардской фотографической коллекции показал, что блеск системы переменен. Временами он опускался до 16^m и даже слабее 17^m , а иногда бывал ярче 14^m , т. е., как у всех полярнов, имеется высокое и низкое состояние блеска. Перечень проведенных наблюдений приведен в табл. 40.

ТАБЛИЦА 40
Наблюдения H 0538+608

Дата наблюдений	Блеск V	Вид наблюдений	Полоса регистрации, Å	Источник	Примечание
6.11.1983	14^m6	Фотометрия	4000—5400	215	
1.04.1984	H	Спектроскопия	3800—7500	215	
14, 24, 25.03.1985	H	Поляриметрия	7100—8800	215	Невоспроизводимость кривой круговой поляризации. Мах поляризация +10%
08.1985—09.1987	H	»		217	
10.1985	H	Спектроскопия	1200—2000	218	Очень усилена линия NV $\lambda 1240$ Å
1.11.1986	15.4	»	1200—3200	218	
22.12.1986	H	»		217	

Оптическая красная блеска получена в ноябре 1983 г. [215] и имеет один широкий максимум продолжительностью около 1 ч. Средний блеск системы в это время был $V=14^m.62$ и цвета $U-B=-0^m.81$ и $B-V=0^m.54$. На кривой заметен сильный фликкеринг с амплитудой около 10 % от общего потока и характерным временем ~ 10 с.

Круговая поляризация измерялась в марте 1985 г. в спектральном диапазоне 7100—8800 Å [215]. По этим измерениям оценен период, который равен $3^h.1 \pm 0^h.2$, т. е. H 0538+608 — третья система с периодом больше 3 ч. Наиболее удивительным свойством кривых круговой поляризации является невоспроизводимость их формы. В течение периода поляризация была все время положительной и максимальная величина ее равна +10 %. Невоспроизводимость кривых круговой поляризации подтверждена в [217], где сообщается также, что поляризация меняет знак за время около 20 циклов. Уточнен период системы: $3^h.262 \pm 0^h.036$.

Оптический спектр H 0538+608 получен в апреле 1984 г. [215]. Он типичен для полярнов: сильные эмиссионные линии H, He I и II. Можно отметить, что линии He II сильнее, чем обычно в спектрах полярнов, и отсутствует линия Ca II $\lambda 3933$. Отношение интенсивностей линий He II $\lambda 4686/H_{\beta} > 1$. Бальмеровский декремент будет частично инверсный и пологий. В [217] отмечаются сложные профили линий, в которых можно выделить четыре компонента: пик, широкое основание, асимметричный компонент и временный компонент. Каждый из них, кроме временного, изменялся с фазой орбитального периода. Кривые лучевых скоростей по основаниям и пикам были смещены друг относительно друга на $0.4P$ и имели следующие характеристики: $K=(504 \pm 60)$ км/с, $\gamma = +(42 \pm 40)$ км/с (основания) и $K=(215 \pm 20)$ км/с и $\gamma = +(29 \pm 15)$ км/с (пики). Декремент был обращенный.

Во всех работах отмечается значительное аперодическое изменение всех регистрируемых величин на временах, как больших, так и меньших продолжительности орбитального периода.

Ультрафиолетовая область спектра наблюдалась в [218] осенью 1985 и 1986 гг. Линейчатый спектр выглядел весьма необычно: в нем усилена линия NV $\lambda 1240$ Å и ослаблена CIV $\lambda 1550$ Å. У всех других систем типа AM Her линия CIV является самой сильной линией ультрафиолетового спектра. Интенсивность линий меняется со временем, но отношение интенсивностей NV $\lambda 1240$ /CIV $\lambda 1550$ остается большим, 10—20, в то время как у других полярнов оно равно ~ 0.3 . Распределение энергии в ультрафиолетовом континууме плоское ($F_{\lambda} \propto \lambda^{-1.1}$).

Удовлетворительного объяснения аномального усиления линий азота в ультрафиолетовом спектре H 0538+608 пока не найдено, тем более, что в оптике одновременного усиления линий азота не наблюдается. Учитывая необычные свойства этой системы: невоспроизводимость и смену знака круговой поляризации, аperiodические и значительные изменения всех других характеристик, можно предположить, что система H 0538+608 — необычный объект типа AM Her и, может быть, объект нового типа.

IE 1048.5+5421

Это недавно открытая и мало изученная система. Ей пока посвящена только одна работа [219], результаты которой излагаются ниже. Сводка проведенных наблюдений приведена в табл. 41. Рентгеновский источник IE 1048.5+5421

ТАБЛИЦА 41
Наблюдения IE 1048.5 + 5421

Дата наблюдений	Блеск V_{\min}	Вид наблюдений	Полоса регистрации	Источник	Примечание
8.12.1985	20 ^m	Спектроскопия	3200—7000; $R=7$	219	HeII/H β =0.6
19.12.1985	20	Поляриметрия	3200—8600	219	Круговая поляризация от +5 до -20 %; линейная: нет определенного результата
10, 11.01.1986	20	Спектроскопия	4275—4760; $R=3$	219	
6.03.1986	20	Фотометрия	δ/ϕ	219	

был открыт случайно в 1979 г. при изучении галактики NGC 3446. Он расположен на довольно большой галактической широте $b''=+55^\circ$, что необычно, так как поляры концентрируются в галактической плоскости. Рентгеновский спектр

его очень мягкий: в области энергий ≥ 2 кэВ он почти не регистрируется. Изменение блеска в диапазоне < 2 кэВ значительное. Оно измерено на протяжении почти трети периода, но из-за незнания фаз рентгеновская кривая блеска не может быть сопоставлена с оптической. Проведенные позднее фотометрические и поляриметрические наблюдения позволили установить принадлежность этой системы к объектам AM Her и определить ее период. Он оказался равным 114.5 мин. В течение периода на кривой блеска наблюдаются яркая и слабая фазы (рис. 39). Яркая фаза продолжается примерно 0.6 периода. В это время наблюдаются два раздельных максимума. Блеск системы в максимумах равен $18^m-18^m.5$, а во время слабой фазы $\sim 20^m$. Между максимумами в яркой фазе блеск понижается почти до уровня блеска в слабой фазе.

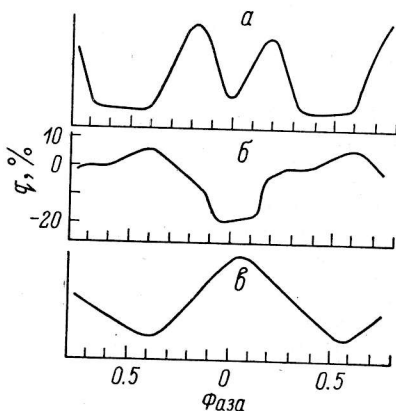


Рис. 39. Кривые блеска (а), поляризации (б) и лучевых скоростей (в) IE 1048.5+5421.

Круговая поляризация отрицательна во время яркой фазы кривой блеска и положительна во время слабой фазы (рис. 39). Пределы изменения круговой поляризации от -20 до +5 %. Изменение блеска почти на 2^m в течение яркой фазы не проявляется на кривой поляризации. Измерение линейной поляризации не дало определенного результата. Однако утверждать, что у IE 1048+5421 отсутствует пульс линейной поляризации, преждевременно: система

слабая, а пульс кратковременный, поэтому нужны продолжительные наблюдения, чтобы получить хорошее отношение сигнал/шум.

Оптический спектр этой системы обычен для полярных звезд: сильные эмиссионные линии H, He I и II. Отношение линий He II $\lambda 4686/H_{\beta} \approx 0.6$, а бальмеровский декремент должен быть пологим и частично инверсным, $H_{\alpha}/H_{\beta} < 1$. Континуум круто поднимается вверх в коротковолновую сторону ($\lambda < 4000 \text{ \AA}$), а в области $\lambda > 4000 \text{ \AA}$ он плоский. Судя по линейчатому спектру, система наблюдалась при пониженном блеске.

Кривая лучевых скоростей была построена по основаниям линий. Ее амплитуда велика, $K \approx 700 \text{ км/с}$, а γ -скорость ~ 0 . Скорости положительны во время яркой фазы и отрицательны во время слабой, но экстремумы скорости не совпадают с центрами яркой и слабой фаз кривой блеска.

Наиболее замечательной особенностью IE 1048+5421 является большое отношение потоков в рентгеновской и оптической областях $F_x/F_{opt} = 150$, оно самое большое среди полярных звезд. Если оно типично для этой системы, то «загадка мягкого рентгена» проявляется здесь особенно сильно.

EXO 033319—2554.2

Это недавно открытая и еще мало изученная система, первоначально отмеченная как источник мягкого рентгеновского излучения. Сведения о проведенных наблюдениях собраны в табл. 42. Из этой таблицы видно, что у системы есть высокое и низкое состояния блеска, различающиеся почти на 4^m .

ТАБЛИЦА 42
Наблюдения EXO 033319—2554.2

Дата наблюдений	Блеск V_{min}	Вид наблюдений	Полоса регистрации	Источник	Примечания
20.08.1983 16.01.1986	} 18 ^m 5	Фотометрия	0.05—2 кэВ	220	
20—26.10.1987		Спектроскопия	4000—10000 \AA , $R=20 \text{ \AA}$	221	Слабые линии H, полосы TiO, циклотронные гармоники
27.11.1987	17	Фотометрия Спектроскопия	BVI 4300—6700 \AA	222	Сильные линии H, He II, циклотронные гармоники
28, 29.11.1987	18	Поляриметрия	3300—8600 \AA	223	Переменная круговая поляризация от -2 % до +10 %, линейная не обнаружена
15.12.1987	20:5	»	3300—5300 \AA , I	224	+10 % в I ~ 2 %

Рентгеновская кривая блеска (рис. 40) имеет яркую и слабую фазы [220]. Яркая длится более половины периода $0.56P$. Во время яркой фазы наблюдается затменноподобная деталь (дип) продолжительностью 8 мин. Вне яркой фазы и во время дипа излучение не регистрируется. Момент середины дипа принят за фазу $\varphi=0.0$, а продолжительность орбитального периода составляет $(126 \pm \pm 0.3)$ мин.

Оптические кривые блеска в близких к BVI полосах получены в [221] и приведены на рис. 40. В B и V кривые похожи на рентгеновскую кривую с той разницей, что продолжительность яркой фазы немного меньше, а во время слабой фазы поток не равен нулю. Дип на фазе 0.0 сохраняется, и излучение в нем равно нулю. В I полосе кривая блеска выглядит иначе: на месте дипа наблюдается широкая и мелкая деталь, а яркая фаза имеет малую амплитуду и большую продолжительность (рис. 40).

Во время яркой фазы наблюдается сильный фликкеринг. Его амплитуда увеличивается с уменьшением длины волны. Особенно сильный фликкеринг в области мягкого рентгена, там его амплитуда доходит до 100 % от среднего уровня потока.

Кривые круговой поляризации для высокого уровня блеска показаны на рис. 40, а [223]. Во время яркой фазы поляризация положительна, а вне ее

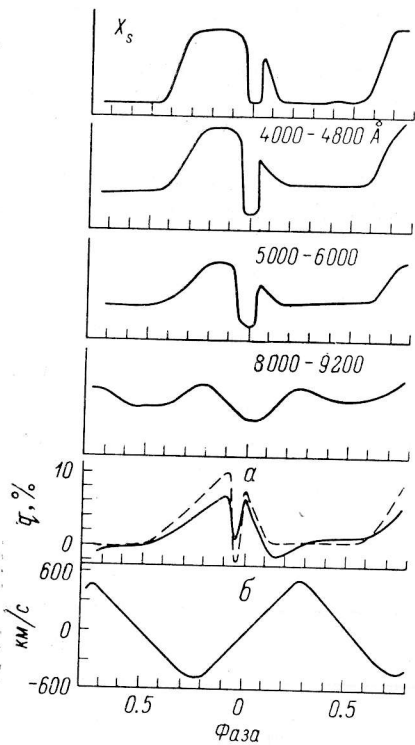


Рис. 40. Кривые блеска, поляризации (а) и лучевых скоростей (б) EXO 033319—2554.2.

близка к нулю. От периода к периоду амплитуда кривой меняется и достигает в максимуме 5—10 % на $\varphi=0.9$. Чуть раньше середины дипа наблюдается резкое и кратковременное изменение поляризации от максимальной величины до -3% . Иногда отрицательная поляризация наблюдается сразу после яркой фазы на $\varphi \approx 0.1 \div 0.2$. В низком состоянии блеска круговая поляризация была больше в синей области спектра (3300—5300 Å), где достигала $+10\%$, а в красной (I-полоса) была менее 2 % [224]. Значимой линейной поляризации не обнаружено [223].

Спектральные наблюдения были проведены в обоих состояниях блеска системы. При высоком блеске [222] в спектре присутствовали сильные бальмеровские линии и линия HeII $\lambda 4686$ Å. Кроме того, присутствовали широкие эмиссионные пики $\lambda 6550$, 5450 и 4720 Å, которые наблюдались по краям яркой фазы. Они были идентифицированы с 5-й, 6-й и 7-й циклотронными гармониками в магнитном поле 33 МГц. При низком блеске [221] в спектре присутствовали слабые бальмеровские линии H_α и H_β , полосы TiO, а также широкие эмиссионные пики $\lambda 6700$, 5100 и 4150 Å. Континуум был голубым и переменным. По полосам TiO спектральный класс вторичного компонента оценен как dM5. Эмиссионные пики отождествлены с 3-й, 4-й и 5-й циклотронными гармониками в поле 50 МГц.

Кривая лучевых скоростей (рис. 40, б) строилась по H_α , краю одной из полос TiO и инфракрасному дублету NaI. Она представляет собой синусоиду с полуамплитудой $K=510 \pm 86$ км/с, $\gamma=0$ км/с, $\varphi_{\max}=0.25$ и $\varphi_{\min}=0.75$. То есть экстремумы лучевой скорости не совпадают с центром яркой и слабой фаз.

Из имеющихся немногочисленных данных видно, что кривые блеска в мягком рентгене и кривые круговой поляризации переменны во времени. Это типично для полярных звезд. Типичны также спектральные изменения. Замечательной особенностью этой системы является присутствие широких эмиссионных деталей в спектре, которые, вероятно, имеют циклотронную природу. Они видны как при высоком, так и при низком блеске системы, хотя длины волн их при этом различаются, что приводит к разным оценкам величины поля.

EXO 023432—5232.3

Это недавно открытая и малоизученная система. Первоначально она была обнаружена как источник мягкого рентгеновского излучения и затем отождествлена со звездой $\sim 19^m$ [225]. Сведения о проведенных наблюдениях приведены в табл. 43. За фазу $\varphi=0.0$ принят момент середины глубокого затмения, а продолжительность орбитального периода равна 114.62 мин.

Рентгеновский поток, вероятно, сильно переменен [225]: в декабре 1984 г. источник не был обнаружен, тогда как годом ранее наблюдалась 100 %-ная мо-

Наблюдения EHO 023432—5232.3

Дата наблюдений	Блеск V_{\min}	Вид наблюдений	Полоса регистрации	Источник	Примечания
16.09.1983	19 ^m	Фотометрия	0.04—2 кэВ	225	100-% модуляция, потока
17.12.1984		»	0.04—2 кэВ	225	Источник не обнаружен
5.07.1986	18.8	Спектроскопия	4140—7520 Å, $R=10$ Å	225	HeII/H β ≈0.3
14, 12.10.1986	20	»	3850—7200 Å, $R=10$ Å	225	
22.10.1986	19.9	»	3850—10600 Å, $R=20$ Å	225	HeII/H β ≈0.5
12.10.1987	18.5	Поляриметрия Фотометрия	3400—4800, 3400—5300, 4900—5700, 5500—8400, 6500—8400 Å	226	Наибольшая круговая поляризация в красной области, в синей — практически отсутствует
26.11.1987		»	δ/ϕ	226	
2, 3.12.1987		»	$\delta/\phi, J$	226	

дуляция потока. На рентгеновской кривой блеска (рис. 41) имелась яркая фаза продолжительностью 0.6—0.7P, а вне ее поток был равен нулю. Форма кривых блеска очень сильно меняется с длиной волны. На рис. 41 показано несколько кривых из [226]. В синей области спектра наблюдается глубокое $\sim 3^m$ затмение, во время которого блеск слабее 23^m. С ростом длины волны форма кривых меняется: по обеим сторонам затмения на фазах 0.2 и 0.75 появляются максимумы излучения, амплитуда которых растет с увеличением длины волны. В полосе R блеск в максимуме $\sim 17^m$, а в I — около 16^m5. Излучение в этих максимумах отрицательно поляризовано, причем величина поляризации, как и блеска, увеличивается с увеличением длины волны. Кривая круговой поляризации показана на рис. 41, а. В полосе I поляризация достигает —25 %, в R —10 %, в синей области поляризации не наблюдается.

На кривых блеска явно наблюдается сильный фликкеринг, который уменьшается в затмении в несколько раз. Вероятно, фликкеринг есть и на кривой поляризации.

Спектр EHO 023432—5232.3 типичен для полярнов. В нем присутствуют сильные и асимметричные эмиссионные линии H, HeI и II. В линиях можно выделить пик и широкое основание. Возможно, имеются слабые полосы TiO, по которым спектр вторичного компонента оценен M5.5. По величине отношения интенсивностей линий HeII $\lambda 4686/H\beta$ можно предположить, что у системы должно быть более высокое состояние блеска. Кривая лучевых скоростей построена по первым трем бальмеровским линиям (пикам) и характеризуется полуамплитудой $K=390 \pm 20$ км/с, $\gamma=0$ км/с. Ее фазировка, как и X_s -кривой, относительно кривых блеска из [226], возможно, недостаточно точна, но $\varphi_{\max} \approx 0.0$.

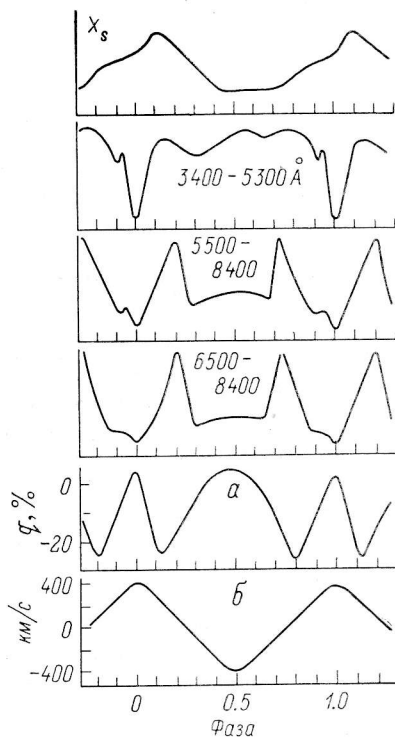


Рис. 41. Кривые блеска, поляризации (а) и лучевых скоростей (б) EHO 023432—5232.3.

Из немногочисленных сведений об этой системе можно лишь предположить, что ее характеристики могут оказаться переменными. Необходимо дальнейшее изучение этой системы.

Общие свойства и различия. Кривые блеска

Анализ характеристик кривых блеска показал, что они весьма разнообразны. Попытка сгруппировать поляры по тому или иному признаку успеха не имела, так как по разным признакам поляры объединяются в разные группы. Неодинаковая изученность разных систем также затрудняет анализ их свойств.

Общим свойством кривых блеска является переменность их формы. Она проявляется у всех поляр, хотя и в разной степени. С течением времени меняются амплитуда кривой, ширина и положение экстремумов. Иногда на кривой появляются новые детали в виде узких глубоких затмений (дипы). Причем дипы могут появляться одновременно в разных спектральных диапазонах. Наиболь-

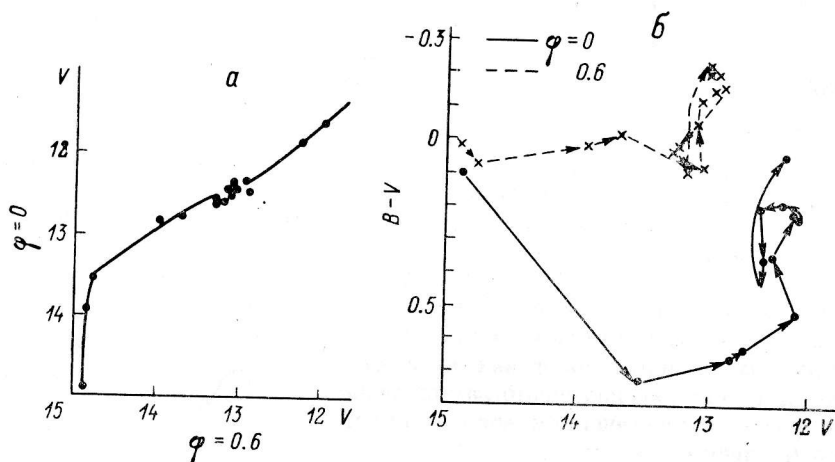


Рис. 42. AM Her.

а — сравнение скорости возрастания блеска на разных фазах при переходе системы из L -состояния в H ;
 б — изменение цвета на разных фазах при возрастании блеска системы.

шая переменность кривой блеска наблюдается у E 2003+225, а также в V -кривой AN UMa. В этих случаях переменность настолько велика, что трудно говорить даже о некоторой средней кривой блеска.

Кроме переменности во времени у большинства поляр наблюдается изменение формы кривых блеска с изменением длины волны. Об этом виде переменности достаточно подробно говорилось выше, при описании каждой отдельной системы. Наиболее сильно она проявляется у EF Eri (2A 0311—227) и EXO 023432—5232.3.

Второе свойство кривых блеска относится не ко всем, но к большинству известных в настоящее время поляр. Оно заключается в том, что кривые блеска в голубой оптической области (в полосе U и, как правило, в B) имеют простую синусоидальную форму и меняются мало. В то время как кривые блеска в других спектральных диапазонах имеют более сложную форму и меняются со временем гораздо сильнее. Экстремумы U - и B -кривых могут как совпадать, так и не совпадать с экстремумами V -кривой.

Переход из высокого состояния блеска в низкое и обратно наблюдался пока еще не у всех поляр. Как правило, при переходе систем в низкое состояние амплитуда кривых уменьшается, а иногда блеск не меняется в течение орбитального периода. Исключение из этого правила составляют CW 1103+254 и U - и B -кривые AM Her. Амплитуда кривых блеска CW 1103+254, по-видимому, не меняется. Разница блеска между H - и L -состояниями у этого поляра состав-

ляет $\sim 1^m$, тогда как у других систем она $2^m - 4^m$. Поэтому можно предположить, что настоящего низкого состояния у CW 1103+254 еще не наблюдалось.

Изменение кривых AM Her описано выше. Кроме того что амплитуды U - и V -кривых возрастают и экстремумы их смещаются, изменение других оптических и инфракрасных кривых таково, что детали, наблюдавшиеся в H -состоянии иногда, стали четко видны в L . Так как AM Her изучен лучше других полярных, то для него имеется возможность подробнее рассмотреть переход между разными состояниями системы. На рис. 42, *a* сравнены скорости возрастания блеска в полосе V на фазах 0.0 и 0.6. Аналогичные зависимости получились для полос UB и R . Видно, что увеличение блеска системы вначале происходит только за счет увеличения блеска в области фазы 0.0. Спустя примерно 7 дней начинается синхронный подъем блеска на всех других фазах. Иными словами, источник на фазе 0.0 включается мгновенно, а на фазе 0.6 и других — с запозданием примерно на неделю. На диаграммах цвет—величина и двухцветной эти два источника имеют разные траектории (рис. 40, *b*). Один из них ($\varphi=0.0$) при возрастании блеска системы вначале резко краснеет, а затем после некоторых колебаний возвращается к исходному значению цвета. Вторым ($\varphi=0.6$) вначале практически не меняет своего цвета, а затем несколько синееет. Таким образом, можно говорить о существовании по крайней мере двух источников излучения. В изменении блеска системы их роли различны: один быстро включается и, вероятно, выключается тоже, а другой более инерционен. Различны также спектральные характеристики излучения, исходящего от них.

Во время продолжительного L -состояния AM Her, например летом 1980 г., изменение формы кривых блеска было таким, как описано выше. При кратковременных L -состояниях, например в феврале 1977 г. и в апреле 1982 г., наблюдались сильно искаженные кривые блеска. На них нельзя было указать экстремумов, очень велика была амплитуда фликкеринга, иногда наблюдалось дополнительное излучение на фазах 0.0—0.2. Вероятно, причина различий связана с разной продолжительностью L -состояний. При их кратковременности в системе, по-видимому, не успевают пройти какие-то процессы, приводящие систему в новое равновесное состояние. Если это так, то при переходе системы в низкое состояние вначале должны наблюдаться бесформенные искаженные кривые блеска, подобные тем, что наблюдали в [5, 8]. Мы еще вернемся к этому вопросу при описании спектральных наблюдений. Отметим, что искаженные кривые блеска наблюдались однажды в [9] во время продолжительного низкого состояния.

Свойства рентгеновских кривых блеска в общих чертах похожи на свойства оптических и инфракрасных кривых. Форма их также меняется со временем, но переменность гораздо больше. Особенно сильно меняются кривые в мягком рентгене. Даже когда они в общих чертах похожи на кривые оптического диапазона, они гораздо более изрезаны и имеют более сложную форму. Амплитуда изменений кривых в жестком рентгене, как правило, меньше, чем в мягком. У AM Her, например, они не изменились даже тогда, когда кривая в мягком диапазоне стала в противофазе с обычно наблюдавшейся кривой. Только один раз с момента открытия AM Her наблюдалось сильное искажение кривой блеска в жестком рентгене, в то время как кривая в мягком диапазоне очень переменна.

Очень часто на рентгеновских кривых блеска наблюдаются узкие и широкие дипы, их экстремумы смещаются по фазе, появляются и исчезают временные максимумы и минимумы. Все это говорит о том, что область, из которой наблюдается рентген, имеет сложную переменную во времени структуру.

Фликкеринг

Быстрые колебания блеска (фликкеринг) являются характерной чертой всех полярных. Как правило, это случайный процесс, который наблюдается во всех спектральных диапазонах и во всех фазах орбитальных кривых блеска. Периодическая составляющая во фликкеринге не наблюдалась ни разу и, по-видимому, отсутствует, но изредка появляются квазипериодические колебания. Они наблюдались у двух полярных: AM Her (квазипериоды 28.2 и 35 с) и у EF

Eg₁ (4 и 6 мин). Средняя продолжительность фликкеринговой вспышки меняется от секунд до минут и обычно разная в разных участках спектра. Амплитуда фликкеринга составляет 0.^m1—0.^m3, но в некоторых случаях бывает гораздо больше. Например, очень сильный фликкеринг (0.^m7—0.^m8) наблюдается у AN UMa и иногда у EF Eg₁. У всех полярных особенно сильный фликкеринг наблюдается в мягком рентгене, где его амплитуда может составлять 50 % и более от величины среднего потока. На кривых блеска с четко выраженной яркой фазой наиболее сильный фликкеринг бывает в максимуме яркой фазы. В остальной части кривой его амплитуда мала. Такие кривые блеска у VV Pup, EF Eg₁, CW 1103+254. Аналогичного явления можно ожидать у E 1114+182, H 0439—68, IE 1048.5+5421, EHO 033319—2554.2. У остальных полярных фликкеринг примерно одинаков в течение всего периода.

Изучение свойств фликкеринга у AM Her и EF Eg₁ показало, что между жестким рентгеном и оптикой имеется хорошая корреляция, в то время как между жестким и мягким рентгеном и между оптикой и мягким рентгеном корреляция или очень низкая, или отсутствует. Это указывает на то, что области возникновения их близки, хотя связь оказалась более тесной, чем можно было ожидать из существующих моделей. Однако у VV Pup наблюдалась 100 %-ная корреляция между сильными фликкеринговыми вспышками в оптике и в мягком рентгене, что не совпадает с предыдущим результатом.

ТАБЛИЦА 44
Переменность полярных

Объект	Период или характерное время, с	Амплитуда, %	Источник
AN UMa	1.38—1.75	2.4	88
E 1405—451	2	1	201, 88, 208, 209
	3.85	—	204
AM Her	1.28	—	31
EF Eg ₁	2—3	1.3	136

Кроме обычного фликкеринга у четырех полярных наблюдается очень быстрая переменность (табл. 44). Она видна не всегда, ее период, амплитуда и цвет меняются со временем, даже при неизменном блеске системы. Если предлагаемое ее объяснение (изменение высоты фронта ударной волны, возникающей в аккреционном столбе над поверхностью белого карлика) справедливо, то она должна наблюдаться у всех полярных.

Поляризация

Подробное описание свойств отдельных систем, приведенное выше, убедительно показало, что поляризация, как линейная, так и круговая, не остаются постоянными со временем. Кривые поляризации значительно меняются по амплитуде и форме, а также с изменением длины волны. Причем изменение с длиной волны, особенно линейной поляризации, может временами отсутствовать.

Сопоставление оптических и инфракрасных кривых блеска с кривыми круговой и линейной поляризации выявило некоторые соотношения между ними.

1. У систем с кривой блеска типа VV Pup, т. е. с четко выраженной яркой фазой кривой блеска, максимум круговой поляризации совпадает с максимумом блеска. Сюда относятся системы VV Pup, E 1114+182, CW 1103+254, IE 1048.5+5421, H 0136—68 (по-видимому) и EF Eg₁ (в большинстве случаев и при отсутствии сильной переменности), EHO 033319—2554.2. У остальных систем с кривыми типа AM Her, т. е. кривыми синусоидального вида с чередованием максимумов и минимумов, максимум круговой поляризации совпадает с главным минимумом блеска. Сюда относятся системы AM Her, AN UMa, PG 1550+191, E 2003+225, E 1405—451.

2. Максимуму блеска может соответствовать как положительная, так и отрицательная круговая поляризация. Тут никакой закономерности нет.

3. Кривые линейной поляризации бывают двух типов: с одним пульсом (максимумом) в течение орбитального периода и с двумя. Один пульс наблюдается у систем с кривыми блеска типа AM Her. Исключение составляет E 1405—451, но существование второго пульса ставится под сомнение. Два пульса линейной поляризации наблюдаются у системы с кривой блеска типа VV Pup. Пульсы появляются по краям яркой фазы кривой блеска в моменты равенства нулю круговой поляризации. Их амплитуды всегда неодинаковы, и более слабый пульс временами может исчезать. Система EF Eri имеет кривую блеска типа VV Pup только в инфракрасной области спектра, и только в этой области иногда наблюдаются два пульса линейной поляризации.

4. Угол плоскости поляризации меняется. В [134] показано, что в случае EF Eri изменение угла $\sim \lambda^2$, т. е. обусловлено фарадеевским вращением, чего не должно быть в стандартной модели. Изменение угла плоскости поляризации в течение орбитального периода не согласуется с моделью центрального диполя.

5. У систем с кривой блеска типа AM Her кривые круговой поляризации часто бывают искажены. Это явление хорошо прослеживается на примере AM Her. Форма кривой круговой поляризации этой системы меняется от неправильной и сложной до правильной синусоиды. Особенно устойчиво искажение в области фазы 0.6, но и оно временами исчезает.

Особняком стоит поляр EHO 023432—5232.3, который по одним свойствам ближе к системам типа VV Pup, а по другим — к системам типа AM Her.

Причиной искажений кривых круговой поляризации могут быть: деполяризации, собственное излучение ОЗМ или дополнительные источники поляризованного излучения. Еще одна причина искажений отмечена Войханской и Гнединым (в печати), которые показали, что в случае существования в системе ОЗМ возможно искажение формы магнитосферы белого карлика. Деполяризоваться излучение может при прохождении сквозь околосветную материю. Изменение оптической и геометрической толщи околосветной материи (ОЗМ) в разных направлениях, которое зависит от темпа переноса и аккреции массы и длины волны, легко может объяснить изменение формы кривой круговой поляризации. В частности, устойчивое искажение в области фазы 0.6 у AM Her, вероятнее всего, обусловлено деполяризацией, так как его величина меняется и иногда оно исчезает (рис. 5). Дополнительные источники поляризованного излучения могли бы возникнуть из-за того, что поверхностное поле белого карлика неоднородно и существенно отклоняется от дипольного. В результате на поверхности появятся области повышенной напряженности магнитного поля, что-то вроде магнитных пятен. В области этих пятен может происходить аккреция, и они станут временными источниками поляризованного излучения. Это должно отразиться также на кривых линейной поляризации. Действительно, у многих систем неоднократно отмечалось появление слабых пульсов линейной поляризации на разных фазах орбитального периода. Продолжительность существования таких слабых пульсов пока не установлена, но не менее нескольких дней. Возможно, что огромная переменность поляризационных кривых, наблюдаемая у H 0538+608 и однажды у EF Eri, связана с какой-то повышенной активностью типа перестройки поверхностного поля. Следует, однако, отметить, что это явления нечастые и поэтому не могут полностью определять изменения со временем и длиной волны кривых круговой поляризации. Поэтому более вероятно, что основной причиной искажений является взаимодействие поляризованного излучения с ОЗМ и собственное излучение последней. Она присутствует в системе практически всегда, и спектральные наблюдения дали многочисленные доказательства ее переменности.

Спектр

Состав линейчатого спектра от инфракрасной области до ультрафиолета довольно похож у всех полярных звезд. Различия между спектрами разных систем примерно такие же, как различия между спектрами одной и той же системы

в разное время. При переходе в низкое состояние блеска эмиссионные линии ослабевают и постепенно исчезают из спектра. При очень глубоком низком состоянии спектр становится или чисто непрерывным, или в нем появляются абсорбционные и эмиссионные детали, которые не отождествляются с обычными атомарными линиями и обусловлены излучением плазмы в сильном магнитном поле. В оптической области спектра, изученной лучше других, линии бывают всегда асимметричны. Величина и знак асимметрии меняются в течение орбитального периода, а при переходе системы в низкое состояние возрастают. Асимметрия линий, как показано в [227], является принципиальным свойством полярных, обусловленным типом аккреции в этих системах.

Описание отдельных систем показало, что их общим свойством является огромная переменность со временем всех характеристик, определяемых по линейчатому спектру: профилей линий, изменений W и I в течение орбитального периода, бальмеровского декремента, кривых лучевых скоростей (по форме, амплитуде, γ -скорости и фазам экстремумов).

Линии, вероятно, имеют сложную структуру, которая меняется со временем и становится заметной при высоком спектральном разрешении. Общепринятое разделение линий на резкий пик и широкое основание носит условный характер. Принято считать, что пики линий возникают в газовом потоке, а при низком состоянии блеска — на поверхности вторичного компонента, на стороне, обращенной к белому карлику и перегретой его излучением. Хотя и поток, и перегретая сторона вторичного компонента с большой вероятностью излучают эмиссионные линии, но главными источниками эмиссионного линейчатого спектра они быть не могут. Огромная переменность характеристик линейчатого спектра, о которой говорилось выше, требует соответствующих больших изменений в геометрии аккреционного потока и условий в нем. Все это должно отразиться на кривых поляризации. В разделе «Поляризация» отмечалось, что в некоторых случаях изменения кривых поляризации указывают на изменение аккреционной геометрии, однако это явления редкие, и между изменениями кривых поляризации и характеристик линейчатого спектра корреляции не найдено. Основным источником эмиссионного линейчатого спектра (пики), по нашему мнению, является околозвездное вещество (ОЗВ) из окрестностей главного компонента. Чем выше светимость системы, тем больший объем ОЗВ освещается излучением, возникающим в окрестностях магнитных полюсов белого карлика, и тем сложнее геометрическая структура ОЗВ и разнообразнее условия в нем. Следствия из такого представления будут рассмотрены ниже.

Широкие основания линий, как принято считать, образуются близ поверхности белого карлика, в потоке вещества, падающего на его полюс, и на поверхности карлика. Действительно, хотя кривые лучевых скоростей по основаниям стабильнее кривых по пикам, однако в них также наблюдаются изменения амплитуды и реже смещение экстремумов и искажение формы. Кроме того, при понижении блеска системы эмиссионные основания сменяются широкими переменными абсорбциями, которые не наблюдаются при очень низком блеске. Все это заставляет искать если не другой, то дополнительный источник излучения широких оснований линий. Местом формирования оснований, по нашему мнению, может быть область около белого карлика, где сравниваются газовое давление в потоке вещества от вторичного компонента и магнитное давление. Толщина такой области будет зависеть от дисперсии давления и скорости в потоке и однородности магнитного поля белого карлика. Вещество от вторичного компонента на какое-то время будет задерживаться в этой области, пока не сможет уйти на магнитный полюс [71].

Выше говорилось, что по типу кривых блеска полярны можно разделить на две группы: типа VV Pup и AM Her. Каждой из этих групп соответствуют определенные свойства кривых поляризации. Оказалось, что свойства кривых лучевых скоростей у этих двух групп также различны. Несмотря на значительное изменение со временем положения кривых v_r по фазе, у полярных типа VV Pup в среднем максимум лучевой скорости как пиков, так и оснований наступает во время яркой фазы. Исключение составляет CW 1103+254, у которого кривые непрерывно смещаются. В случае E 1114+182 и IE 1048.5+5421 в центре яркой фазы имеется понижение блеска. В обоих случаях фаза максимума положитель-

ной скорости оснований совпадает с фазой понижений блеска, что указывает на возникновение оснований в плотной области, способной экранировать излучение главного источника. У полярнов типа AM Her максимум положительной скорости наступает близко к моменту главного минимума, хотя это свойство выражено менее отчетливо, чем у полярнов типа VV Pup. Исключение составляет PG 1550+191, для которого нет ясности с эфемеридами. При переходе AM Her в низкое состояние кривые лучевой скорости сдвигаются, и максимум скорости наступает во время вторичного минимума, а не главного. При формировании линий только в потоке или на вторичном компоненте нельзя ожидать такого разделения свойств кривых лучевой скорости: соотношение между экстремумами кривых блеска и лучевых скоростей должно было бы быть случайным. Сдвиг по фазе между кривыми лучевых скоростей пиков и оснований у полярнов типа VV Pup составляет в среднем $0.1P$, а у полярнов типа AM Her он в 1.5—2 раза больше.

В высоком состоянии блеска континуум может быть представлен комбинацией плоского и степенного континуума. Общим свойством является переменность распределения энергии в континууме при почти постоянном среднем блеске системы. При переходе системы в низкое состояние блеска континуум становится очень красным. Это, по-видимому, тоже общее свойство полярнов. На рис. 3 представлено распределение энергии в спектре AM Her. Неожиданным в нем является то, что в области энергий $\epsilon > 0.4$ кэВ система излучает в высоком состоянии блеска меньше, чем в низком. В рамках обычной модели это объяснить очень трудно. При существовании в системе ОЗВ, которого должно быть особенно много в высоком состоянии блеска, этот факт легко объясняется поглощением рентгеновского излучения в околозвездном веществе. Подробнее об этом ниже.

Попытка объяснить наблюдаемое распределение энергии в оптических спектрах полярнов привела Шмидта и др. [89] к выводу о необходимости увеличить размер области аккреции, окружив компактную ударную область обширным гало с более низкими плотностью и температурой. При наличии в системах ОЗМ создание подобного гало облегчается, а кроме того, оно обязательно, так как его функции могут выполнить плотные части ОЗМ, расположенные вблизи главного компонента.

О напряженности магнитного поля на поверхности белого карлика

Величина магнитного поля белого карлика — одна из важнейших характеристик двойных систем типа AM Her. Именно наличие сильного поля определяет своеобразие процессов, протекающих в этих системах. Поле управляет этими процессами, регулирует их интенсивность и в конечном счете определяет эволюцию системы.

Для определения напряженности поля белого карлика используются три способа: 1) обнаружение циклотронных гармоник и линий, принадлежащих к спектру ударной области; 2) обнаружение зеемановских абсорбций, которые возникают в фотосфере белого карлика; 3) теоретический расчет величины поляризации континуума. Применение этих способов, кроме циклотронных линий, к разным системам дало оценки 10—30 Мгс. Столь малый разброс величин поверхностного поля кажется удивительным и не согласуется с результатами для одиночных магнитных белых карликов, где поля различаются более чем на два порядка. Оценки поля по циклотронным линиям дают величину поля на порядок больше.

Оценки по циклотронным гармоникам впервые сделаны для VV Pup в [110, 114, 109, 228]. Авторы обнаружили в оптическом спектре VV Pup широкие и мелкие абсорбции, которые они интерпретировали как циклотронные гармоники. А так как эти абсорбции были видны только во время яркой фазы кривой блеска, то был сделан вывод, что они относятся к спектру ударной области и, следовательно, характеризуют напряженность поля в области магнитного полюса. Здесь, однако, необходимо отметить, что уровень сигнала в спектрах слабой фазы был на порядок и более слабее, чем в спектрах яркой фазы. Это пони-

жает видимость деталей, особенно слабых. Если спектры яркой фазы пересчитать к уровню сигнала спектров в слабой фазе, то вышеупомянутые абсорбции тоже становятся невидимыми. Таким образом, главный аргумент авторов в пользу возникновения абсорбции в ударной области нельзя считать убедительным. В 1982 г. в поляризационном спектре VV Pup от главного полюса циклотронные гармоники уже не наблюдались, но, возможно, присутствовали в спектре от вторичного полюса [89]. В спектре EHO 033319—2554.2 наблюдались широкие эмиссионные детали, отождествленные с циклотронными гармониками. При изменении блеска системы длины волн этих деталей изменились, соответственно изменились их идентификация и оценка напряженности поля [221, 222]. То есть циклотронные спектральные детали, по-видимому, меняются со временем, как и другие характеристики полярнов.

Аналогичным образом было оценено поле у E 1405—451 [205]. Абсорбционная циклотронная деталь была видна в максимуме блеска и не видна в минимуме в течение орбитального периода. Причина невидимости слабой абсорбции в минимуме блеска, по нашему мнению, та же самая — слабый уровень сигнала. На поляризационном спектре, полученном одновременно, эта деталь видна так же хорошо, как в спектре в максимуме блеска. Следовательно, даже если обнаруженные абсорбционные детали имеют циклотронную природу, нет оснований считать, что они возникают в ударной области и соответствующие оценки поля характеризуют поверхностное поле белого карлика.

Оценки поля по расщеплению линий были сделаны для AM Her в низком состоянии блеска [69, 70, 229], для EF Eri [89, 138], PG 1550+191 [89], H 0139—68 [177], CW 1103+254 [195]. Второй способ оценки дает такие же величины поля, как и первый. Это значит, что они оценивают поле примерно в одной и той же области. При этом априори предполагается, что наблюдаемое расщепление линий возникает в фотосфере белого карлика. Это предположение, в свою очередь, основывается на другом предположении о том, что широкие основания линий возникают в фотосфере белого карлика. Против такого предположения можно привести ряд возражений. Во-первых, кривые лучевых скоростей оснований меняются по амплитуде и в меньшей степени по фазировке экстремумов. Кроме того, они бывают иногда искажены. Всего этого не должно быть, если они возникают в фотосфере белого карлика. Во-вторых, при очень низком блеске систем (глубокое L -состояние) основания не видны [78]. В-третьих, в спектрах обычных новоподобных систем широкие мелкие абсорбции появляются часто, причем их видимость меняется при изменении среднего блеска системы. Но когда новоподобные системы бывают в очень глубоком минимуме блеска, широкие основания не наблюдаются. Одни из самых сильных водородных абсорбционных линий среди катаклизмических переменных наблюдаются в спектре WZ Sge. Долгое время они считались линиями белого карлика, однако в дальнейшем от этого мнения пришлось отказаться [230]. Примерно постоянная величина сдвига между кривыми лучевых скоростей пиков и оснований означает, по нашему мнению, что области формирования пиков и оснований непрерывно переходят одна в другую по мере приближения к белому карлику. И в профилях линий, как правило, наблюдается плавный переход между пиком и основанием, если только в системе не происходит резких изменений, что проявляется в сложных многокомпонентных профилях. Нам кажется более вероятным, что наблюдаемые широкие основания линий формируются не в фотосфере белого карлика, а на некотором расстоянии от него. Там, где поток меняет первоначальное направление движения и начинает течь вдоль линий поля. Подробнее об этом говорилось выше. Хотя существует область преимущественного формирования линий, при наличии ОЗВ картина течений по альвеновской поверхности и вообще движений вещества в объеме системы может быть очень сложной. Этим, по нашему мнению, объясняется сложность и переменность поляризационных спектров, на которых пока удается отождествить только основные детали.

Как было показано выше, кривые поляризации и величина круговой поляризации у хорошо изученных систем оказываются очень переменными. Особенно сильно величина поляризации меняется при понижении блеска системы. Поэтому расчет величины поляризации в континууме должен учитывать при-

чины, меняющие величину поляризации. Такими причинами могут быть, например, разбавление поляризованного излучения неполяризованным, деполяризация (в том числе фарадеевское вращение), неоднородность и переменность поверхностного магнитного поля белого карлика. Первые две причины неизбежно должны существовать при наличии достаточного количества ОЗВ в системе. Неоднородность и переменность поля можно предположить у некоторых систем с большой вероятностью (EF Eri, H 0538+608, AM Her).

Сейчас вряд ли можно сомневаться в том, что значительная часть оптического континуума возникает вдали от поверхности белого карлика. Поэтому без учета причин, изменяющих поляризацию излучения, расчет поляризации континуума будет характеризовать величину поля на некотором расстоянии от поверхности белого карлика.

В начале 1977 г. в спектре VV Pup наблюдалась эмиссионная линия $\lambda 3470 \text{ \AA}$. Система в это время была в низком состоянии блеска, и другие линии в ее спектре отсутствовали [97]. Митрофанов [415] предложил интерпретировать эту эмиссионную деталь как электронную циклотронную линию. Позднее подобные необычные детали спектра были обнаружены у AM Her [65] и PG 1550+191 [452]. Во всех случаях поведение предполагаемых циклотронных линий отличалось от поведения обычных атомарных линий. В частности, интенсивность линии $\lambda 4710 \text{ \AA}$ в спектре PG 1550+191 резко увеличивалась в момент максимума круговой поляризации. Соответствующее этим линиям поле — $(2 \div 3) \cdot 10^8 \text{ Гс}$, т. е. примерно на порядок больше, чем дают другие методы.

Возникает вопрос, почему циклотронные линии видны так редко? Здесь можно предложить два объяснения. Во-первых, должны создаваться благоприятные условия видимости околополюсных областей. При большом количестве ОЗВ в системе это ситуация редкая. Во-вторых, длины волн циклотронных линий могут лежать вне оптического диапазона. Если предположить, что магнитные поля главных компонентов в системах AM Her заключены в таких же широких пределах, как поля одиночных магнитных белых карликов, то длины волн циклотронных линий должны лежать в широком диапазоне. Например, при поле $3 \cdot 10^7 \text{ Гс}$, $\lambda_{\text{свч}} \approx 3.6 \cdot 10^4 \text{ \AA}$, а при поле 10^9 Гс , $\lambda_{\text{свч}} \approx 10^3 \text{ \AA}$, т. е. лежат в трудно наблюдаемых областях спектра. Обнаружение циклотронных линий в спектрах систем типа AM Her — очень важная наблюдательная задача, так как дает возможность непосредственного измерения величины магнитного поля главных компонентов.

Заключительные замечания

Самым общим свойством полярных областей оказалась переменность всех характеристик. Какую бы характеристику системы мы ни рассматривали (блеск в любом диапазоне излучения, поляризацию, многочисленные спектральные характеристики), она оказывается в большей или меньшей степени переменной. Первой причиной переменности является околозвездная материя, присутствующая в объеме системы. Изменение ее количества и распределения в пространстве обуславливает наблюдаемые переменности. Вторая возможная причина — неоднородность и переменность поверхностного магнитного поля белого карлика.

Околозвездная материя (ОЗМ) может появляться в системе вследствие выброса вещества из областей магнитных полюсов. Хотя темп аккреции массы в системах типа AM Her невелик, аккреция происходит на малую часть поверхности белого карлика в области магнитных полюсов. На этой малой поверхности могут создаваться условия для наступления критической аккреции и оттока вещества. Кроме того, эддингтоновский предел может быть заметно понижен в присутствии сильного магнитного поля [231, 232]. Оценки показывают, что на небольшом участке поверхности, в районе магнитного полюса, легко могут создаваться условия для сверхкритического режима аккреции и появления выбросов вещества. Кроме полюсов вещество может истекать через внешние точки Лагранжа L_2 и L_3 . На возможность такого истечения указывают слабые компоненты линий так называемые S-волновые компоненты, которые часто наблюдаются у линий новоподобных систем и полярных. Существование истече-

ния материи через внешние точки Лагранжа продемонстрировали расчеты [233]. Выброшенная материя будет растекаться по эквипотенциальным поверхностям и создаст неоднородную оболочку. Конкретная геометрия будет зависеть от скорости и массы выброса материи. При больших скоростях выброса часть материи, вероятно, может быть потеряна системой, что важно для ее эволюции.

Следствием новой модели, включающей в себя ОЗМ, является большая возможность в интерпретации наблюдательных данных. Изменение массы размеров и структуры ОЗМ, представляющей собой очень неоднородную оболочку, позволяет объяснить наблюдаемые переменности. Кроме того, в новой модели можно разрешить так называемую загадку мягкого рентгена. Так как поступление вещества к белому карлику теперь возможно не только со стороны L_1 , но практически с любой стороны, это создаст сложную картину течений по альбеновской поверхности и приведет к практической невидимости поверхности белого карлика. В таком случае жесткий рентген будет перерабатываться в значительной степени, а иногда полностью. Вследствие этого отношение потока мягкого рентгена к потоку жесткого может быть больше единицы и даже много больше, что часто наблюдается. В то время как, согласно стандартной модели, это отношение должно быть равно ~ 1 .

Жесткий рентген будет перерабатываться в мягкий и оптику. Это объясняет, почему все поляры — сильные источники мягкого рентгена. Так как переработка идет веществом, находящимся в ближайших окрестностях белого карлика, а схема течений этого вещества теперь очень сложная, то это объясняет, почему наибольшая переменность наблюдается именно у кривых блеска в мягком рентгене.

Кривые лучевых скоростей по эмиссионным линиям низкого возбуждения (CaII) и абсорбционным линиям в инфракрасной области (NaI) часто отличаются фазировкой от кривых по H, HeI и II, особенно в низком состоянии блеска систем. Различие фазировки указывает на то, что линии низкого возбуждения возникают в окрестностях вторичного компонента или, возможно, в его атмосфере. Например, в высоком состоянии блеска лучевые скорости по линии CaII $\lambda 3933 \text{ \AA}$ часто показывают случайные изменения, а в низком состоянии получается синусоидальная кривая лучевой скорости, причем она всегда сдвинута относительно кривых по H, HeI и II ближе к положению вторичного компонента. В модели с ОЗМ эти факты получают простое объяснение: окрестности главного компонента «слишком горячи» для линий низкого возбуждения. Поэтому они будут формироваться очень далеко от него и в окрестностях вторичного компонента. Предположение, что они формируются в атмосфере вторичного компонента, нуждается в дополнительных доказательствах. Возможно, что в некоторых случаях это так.

Наконец, в новой модели иным будет представление о том, что такое высокое состояние блеска. Когда скорость переноса и аккреции массы возрастает, то вначале блеск растет в узкой области фаз вокруг фазы 0.0 (рис. 42). Через несколько дней начинается увеличение блеска на всех фазах. Это время, по-видимому, необходимо для возбуждения имевшейся в системе ОЗМ, а также для дополнительного выброса материи в объем системы. Таким образом, высокое состояние — это состояние возбуждения и высвечивания ОЗМ, наступающее при высокой скорости аккреции на главный компонент.

Очевидна необходимость продолжения наблюдений полярных, так как многие из них изучены мало, а для хорошо изученных систем сейчас больше вопросов, чем ответов. Особенно желательны комплексные наблюдения и поиски корреляций между различными характеристиками систем. Очень важно, по нашему мнению, изучить переход систем из одного состояния блеска в другое, чтобы определить характерное время перехода и динамику изменения всех возможных характеристик систем. Такие наблюдения явились бы критическим экспериментом для предлагаемой новой модели.

В заключение перечислим те сведения, которые необходимо указывать в любой наблюдательной работе, так как их отсутствие не позволяет сопоставлять результаты разных авторов: точный момент наблюдений; блеск, хотя бы визуальные оценки; полоса регистрации; разрешение при спектральных наблюде-

ниях; временное разрешение; точности; перевод скорости счета в звездные или энергетические величины.

Добавление. После завершения обзора стало известно об открытии заметной круговой поляризации у V 1500 Cyg (N Cyg 1975) и возможной принадлежности ее к полярам [234]. Однако свойства этой системы во многом отличаются от свойств известных полярных звезд. Ее надо изучить более подробно, чтобы ответить на этот вопрос.

Литература

1. Tapia S. Discovery of a magnetic compact star in the AM Herculis (3U 1809+50 system) // *Astrophys. J.* 1977. 212. P. L125—L129.
2. Liebert J., Stockman H. S. The AM Herculis magnetic variables // *Cataclysmic variables and low-mass X-ray binaries* / Eds. J. Patterson, D. Q. Lamb. Massachusetts, 1984. P. 151—177.
3. Feigelson E., Dexter L., Liller W. The optical variability of the X-ray binary AM Herculis // *Astrophys. J.* 1978. 222. P. 263—268.
4. Hudes R., Meinunger L. Active and inactive state of AM Her=3U 1809+50 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1976. N 1184.
5. Götz W. Some remarks on the close binary X-ray source AM Her // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1982. N 2226.
6. Götz W. Optical behaviour of the polar AM Her in 1985 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1986. N 2967.
7. Götz W. Optical behaviour of the polar AM Her in 1987 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1987. N 3126.
8. Szkody P. Changes in AM Herculis during maximum and minimum states // *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1978. 90. P. 61—70.
9. Szkody P., Raymond J. C., Capps R. W. The low state of AM Herculis: observation from 0.12 to 10 microns // *Astrophys. J.* 1982. 257. P. 686—694.
10. Priedhorsky W. C., Krzeminski W. Photometry of AM Herculis: a slow optical pulsar // *Astrophys. J.* 1978. 219. P. 597—604.
11. Infrared light curves of AM Herculis / R. F. Jameson, R. Akinci, D. J. Adams et al. // *Nature.* 1978. 271. P. 334—335.
12. Infrared and optical polarimetry of AM Herculis / J. Bailey, J. H. Hough, R. Gilmozzi et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1984. 207. P. 777—782.
13. Bailey J., Hough J. H., Wickramasinghe D. T. Photometry and polarimetry of AM Herculis // *Anglo-Australian observ. prepr.* 1983. N223.
14. Berg R. A., Duthie J. G. The nature of AM Herculis // *Astrophys. J.* 1977. 211. P. 859—865.
15. Szkody P., Margon B. Simultaneous three-channel photometry of AM Herculis; implications for the optical flickering mechanism // *Astrophys. J.* 1980. 236. P. 862—867.
16. Patek R. J. On the rapid variability of AM Herculis // *Astrophys. J.* 1980. 241. P. 1077—1081.
17. Bailey J., Mason K. O., Parkes G. E. High speed photometry of AM Her // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1977. 180. P. 35P—39P.
18. Корнилов В. Г., Москаленко Е. И. О быстрой переменности блеска в системе AM Her // *Письма в Астрон. журн.* 1979. 5. С. 456—459.
19. Channugam G., Dulk G. A. Radio emission from AM Herculis-type binaries // *Astrophys. J.* 1982. 255. P. L107—L110.
20. Dulk G. A., Bastian T. S., Channugam G. Radio emission from AM Herculis: the quiescent component and an outburst // *Astrophys. J.* 1983. 273. P. 249—254.
21. Bastian T. S., Dulk G. A., Channugam G. Radio emission from AM Herculis // *Radio Stars: Proc. Workshop Stellar Continuum Radio Astron. Boulder Colo.* 8—10 Aug. 1984. Dordrecht etc. 1985. P. 225—228.
22. OSO - 8X - ray observations of AM Herculis / J. Swank, M. Lampton, E. Boldt et al. // *Astrophys. J.* 1977. 216. P. L71—L74.
23. Bunner A. N. Soft X-ray results from the Wisconsin experiment on OSO-8 // *Astrophys. J.* 1978. 220. P. 261—271.
24. Hearn D. R., Richardson J. A. The X-ray light curve of AM Herculis // *Astrophys. J.* 1977. 213. P. L115—L117.
25. Priedhorsky W., Marshall F. J., Hearn D. R. Disappearance of periodic X-ray minima in AM Herculis // *Astron. and Astrophys.* 1987. 173. P. 95—100.
26. Coe M. J., Engel A. R., Quenby J. J. Hard X-ray observations of white dwarf binary systems // *Nature.* 1978. 272. P. 37—38.
27. Soft X-ray observations of AM Herculis / S. Hayakawa, H. Iwanami, H. Kunieda et al. // *X-ray Astron.: Proc. Symp. 21st plenary meet. COSPAR, Innsbruck, 1979.* P. 159—162.
28. The hard X-ray spectrum of AM Herculis / R. Staubert, E. Kendziorra, W. Pietsch et al. // *Astrophys. J.* 1978. 225. P. L113—L114.
29. New evidence on the nature of the soft X-ray source in AM Herculis from HEAO-1 / I. R. Tuohy, F. K. Lamb, G. P. Garmire et al. // *Astrophys. J.* 1978. 226. P. L17—L20.
30. X-ray observations of AM Herculis from OSO-8 / M. J. Coe, B. R. Dennis, J. F. Dolan et al. // *Nature.* 1979. 279. P. 509—510.

31. Pointed soft X-ray observations of AM Herculis from HEAO-1 / I. R. Tuohy, K. O. Mason, G. P. Garmire et al. // *Astrophys. J.* 1981. **245**. P. 183—194.
32. The X-ray spectrum of AM Herculis from 0.1 to 150 keV / R. E. Rothschild, D. E. Gruber, F. K. Knight et al. // *Astrophys. J.* 1981. **250**. P. 723—732.
33. Ultraviolet observations of AM Herculis / E. G. Tanzi, M. Tarenghi, A. Treves et al. // *Astron. and Astrophys.* 1980. **83**. P. 270—274.
34. Ultraviolet observations of AM Herculis with IUE / J. C. Raymond, J. H. Black, R. J. Davis et al. // *Astrophys. J.* 1979. **230**. P. L95—L98.
35. Coordinated X-ray, ultraviolet and optical observations of AM Her, U Gem and SS Cyg / G. Fabbiano, L. Hartmann, J. Raymond et al. // *Astrophys. J.* 1981. **243**. P. 911—925.
36. Heise J., Brinkman A. C. High resolution soft X-ray spectra with the objective grating spectrometer aboard Einstein observatory // *Galactic X-ray sources* / Ed. P. W. Sanford et al. New York etc., 1982. P. 393—404.
37. Fabbiano G. X-ray observations of AM Herculis in its low state // *Astrophys. J.* 1982. **262**. P. 709—713.
38. An X-ray study of AM Herculis / J. Heise, A. C. Brinkman, E. Gronenschild et al. // *Astron. and Astrophys.* 1985. **148**. P. L14—L16.
39. Mazeh T., Kieboom K., Heise J. A photometric study of AM Herculis in the normal and reversed soft X-ray modes // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **221**. P. 513—521.
40. Heise J., Verbunt F. Ultraviolet observations of AM Herculis // *Astron. and Astrophys.* 1988. **189**. P. 112—118.
41. AM Herculis: simultaneous X-ray, optical and near IR coverage / P. Szkody, F. A. Cordova, I. R. Tuohy et al. // *Astrophys. J.* 1980. **241**. P. 1070—1076.
42. Stella L., Beuermann K., Patterson J. Uncorrelated soft and hard X-ray short-term variations from AM Her // *Astrophys. J.* 1986. **306**. P. 225—229.
43. Chiappetti L., Tanzi E. G., Treves A. The system AM Her=4U 1814+50 // *Space Sci. Rev.* 1980. **27**. P. 3—33.
44. Michalsky J. J., Stokes G. M., Stokes R. A. Multicolor linear and circular polarization of AM Herculis. I. A preliminary geometrical model // *Astrophys. J.* 1977. **216**. P. L35—L39.
45. Joint infrared and visual monitoring of AM Herculis / W. Priedhorsky, K. Matthews, G. Neugebauer et al. // *Astrophys. J.* 1978. **226**. P. 397—401.
46. Photometry and polarimetry of AM Herculis / J. A. Bailey, D. H. P. Jones, G. E. Parkes et al. // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1978. **184**. P. 73P—77P.
47. Szkody P., Capps R. W. Infrared observations of polars AM Her, VV Pup, AN UMa // *Astron. J.* 1980. **85**. P. 882—885.
48. Ефимов Ю. С., Шаховской Н. М. Поляризационные и фотометрические наблюдения полярна АМ Геркулеса // *Изв. КРАО.* 1982. **65**. С. 143—155.
49. Changes in the high state AM Herculis: a simultaneous X-ray, optical, polarimetric and spectroscopic study / L. Crosa, P. Szkody, G. Stokes et al. // *Astrophys. J.* 1981. **247**. P. 984—993.
50. Bailey J., Axon D. J. Multicolour polarimetry of AM Herculis // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1981. **194**. P. 187—194.
51. Pirola V., Vilhu O., Kyröläinen J. Five-colour polarimetry of AM Herculis // *Recent Results Cataclismic Variables: Import. IUE and EXOSAT Results Cataclismic Variables and Low-mass X-ray Binaries. Proc. ESA Workshop, Bamberg, 17—19 Apr., 1985. Paris, 1985.* P. 245—249.
52. New observations and a slow rotator model of the X-ray binary AM Her / H. S. Stockman, G. D. Schmidt, J. R. P. Angel et al. // *Astrophys. J.* 1977. **217**. P. 815—831.
53. Priedhorsky W. C., Krzeminski W., Tapia S. Correlated photometric and polarimetric phenomena in AM Herculis // *Astrophys. J.* 1978. **225**. P. 542—547.
54. Stockman H. S., Sargent T. A. High-speed circular polarimetry of AM Herculis // *Astrophys. J.* 1979. **227**. P. 197—208.
55. Latham D. W., Liebert J., Steiner J. E. The 1980 low state of AM Herculis // *Astrophys. J.* 1981. **246**. P. 919—934.
56. Pirola V., Vilhu O., Tuominen T. Circular polarimetry of AM Herculis // *Rept. radio lab. Helsinki. Univ. Technol.* 1982. **N129**. P. 46—49.
57. Bond H. E., Tift W. G. A spectroscopic survey of some high-latitude blue variables // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1974. **86**. P. 981—984.
58. Cowley A. P., Crampton D. A preliminary model for the X-ray binary AM Herculis // *Astrophys. J.* 1977. **212**. P. L121—L124.
59. Crampton D., Cowley A. P. The low-mass X-ray binary AM Herculis // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1977. **89**. P. 374—385.
60. Greenstein J. L., Arp H. C., Shectman S. Blue variables at high galactic latitude // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1977. **89**. P. 741—745.
61. Velocity curves for broad and sharp components observed in the emission lines from AM Herculis / J. L. Greenstein, W. L. W. Sargent, T. A. Boroson et al. // *Astrophys. J.* 1977. **218**. P. L121—L127.
62. Буренков А. Н., Войханская Н. Ф. Исследование рентгеновской двойной системы АМ Геркулеса // *Астрон. журн.* 1980. **57**. С. 65—69.
63. Young P., Schneider D. P. Improved infrared observations of AM Herculis // *Astrophys. J.* 1979. **230**. P. 502—508.

64. Войханская Н. Ф. Спектрофотометрическое изучение AM Геркулеса // Астрон. журн. 1980. 57. С. 1218—1226.
65. Войханская Н. Ф., Митрофанов И. Г. Первые результаты поиска циклотронных линий в оптических спектрах новоподобных звезд // Письма в Астрон. журн. 1980. 6. С. 159—165.
66. Kwitter K. B., Margon B. Near infrared spectrophotometry of four low-mass X-ray binaries and magnetic rotators // Bull. American. Astron. Soc. 1978. 10. P. 607.
67. Hutchings J. B., Srampton D., Cowley A. P. Optical spectroscopy of AM Her: the 1980 low state // Astrophys. J. 1981. 247. P. 195—201.
68. Patterson J., Price C. Spectrophotometry of AM Herculis at minimum // Pubs. Astron. Soc. Pacif. 1981. 93. P. 71—76.
69. Schmidt G. D., Stockman H. S., Margon B. A direct measurement of the magnetic field in AM Herculis // Astrophys. J. 1981. 243. P. L157—L161.
70. Young P., Schneider D. P., Shectman S. A. AM Herculis: the magnetic man uncloaks itself // Astrophys. J. 1981. 245. P. 1043—1053.
71. Войханская Н. Ф. Исследование двойной системы AM Геркулеса // Астрон. журн. 1988. 65. С. 796—805.
72. Об изменении периода AM Геркулеса / И. Л. Андронов, М. И. Банний, С. А. Коротин и др. // Астрон. цирку. 1982. № 1225. С. 5—7.
73. Смыков В. П., Шакун Л. И. Об изменении орбитального периода AM Геркулеса // Астрон. цирку. 1985. № 1384. С. 3—5.
74. Шугаров С. Ю. AN Большой Медведицы — бывшая новая? // Астрон. цирку. 1975. № 887. С. 7—8.
75. Krzeminski W., Serkowski K. Extremely high circular polarization of AN Ursae Majoris // Astrophys. J. 1977. 216. P. L45—L48.
76. Meinunger L., Wenzel W. AN UMa // Veröffentl. der Sternwarte in Sonneberg. 1968. 7. P. 405—407.
77. Meinunger L. AN UMa // Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars // 1976. N 1168.
78. The 1979 minimum state of AN Ursae Majoris / J. Liebert, S. Tapia, H. E. Bond et al. // Astrophys. J. 1982. 254. P. 232—241.
79. Hearn D. R., Marshall F. G. Discovery of a soft X-ray flux from AN Ursae Majoris // Astrophys. J. 1979. 232. P. L21—L23.
80. Mumford G. S. AN Ursae Majoris — another AM Herculis? // Sky and Telescope. 1977. 54. P. 194—196.
81. Асланов А. А., Шугаров С. Ю. UBV фотометрия поляра AN Большой Медведицы // Письма в Астрон. журн. 1981. 7. С. 300—303.
82. Ефимов Ю. С., Шаховской Н. М. Поляризационные наблюдения поляра AN UMa // Изв. КрАО. 1981. 64. С. 55—66.
83. Downes R. A., Urbanski J. L. Polarization of AN Ursae Majoris // Pubs. Astron. Soc. Pacif. 1978. 90. P. 458—459.
84. Gilmozzi R., Messi R., Natali G. Five-color photometry of AN Ursae Majoris // Astrophys. J. 1981. 245. P. L119—L122.
85. Simultaneous X-ray and optical observations of AN UMa during a low state / P. Szkody, E. Schmidt, L. Crosa et al. // Astrophys. J. 1981. 246. P. 223—230.
86. Osborne J. P. X-ray observations of cataclysmic variables // Astrophys. and Space Sci. 1987. 130. P. 207—223.
87. Imamura J. N., Steiman-Cameron T. Y. High-speed multicolor photometry of AN Ursae Majoris // Astrophys. J. 1986. 311. P. 786—795.
88. Middleditch J. Two-second variability in AM Herculis binaries // Astrophys. J. 1982. 257. P. L71—L75.
89. Schmidt G. D., Stockman H. S., Grandi S. A. The optical continua of magnetic variables // Astrophys. J. 1986. 300. P. 804—818.
90. Tapia S. AN Ursae Majoris // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU. 1977. N 3049.
91. Schneider D. P., Young P. VV Puppis and AN Ursae Majoris: a radial velocity study // Astrophys. J. 1980. 240. P. 871—884.
92. Войханская Н. Ф. Спектральные исследования поляра AN Большой Медведицы // Астрон. журн. 1986. 63. С. 516—526.
93. Szkody P., Downes R., Mateo M. White dwarfs in cataclysmic variables: low state IUE observations of V794 Aquilae, MR Serpentis and AN Ursae Majoris // Pubs. Astron. Soc. Pacif. 1988. 100. P. 362—370.
94. Tapia S. VV Puppis // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU. 1977. N 3054.
95. Bond H. E. VV Puppis // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU. 1977. N 3088.
96. Warner B., Nather R. E. Observations of rapid blue variables: VV Puppis // Mont. Not. Roy. Astron. Soc. 1972. 156. P. 305—313.
97. On VV Puppis / J. Liebert, H. S. Stockman, J. R. P. Angel et al. // Astrophys. J. 1978. 225. P. 201—208.
98. Stockman H. S., Angel R. P. VV Puppis // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU. 1978. N 3197.
99. VV Puppis / R. Angel, J. Liebert, H. Stockman et al. // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU. 1977. N 3065.
100. Bailey J. Observations of VV Puppis in its faint state // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1978. 185. P. 73P—76P.
101. Greenstein J. J., Zimmerman B. VV Puppis // Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU. 1978. N 3197.

102. Szkodny P., Bailey J. A., Hough J. H. Optical and IR curves VV Puppis // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1983. 203. P. 749—757.
103. Allen D. A., Cherepashchuk A. M. The ellipsoidal light curve of VV Puppis // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1982. 201. P. 521—525.
104. VV Puppis: the soft X-ray machine // J. Patterson, K. Beuermann, D. Q. Lamb et al. // *Astrophys. J.* 1984. 279. P. 785—797.
105. Smak J. Eruptive binaries. IV: On the light variations of VV Puppis // *Acta Astron.* 1971. 21. P. 467—478.
106. Cropper M., Warner B. Polarimetry of VV Puppis // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. 220. P. 633—645.
107. Piirola V., Reiz A., Coyne G. V. Simultaneous five color (UBVRI) polarimetry of VV Puppis // *Astrophys. Space Sci.* 1987. 130. P. 203—204.
108. Liebert J., Stockman H. S. Circular polarimetry of an active VV Puppis: evidence for two accreting poles // *Astrophys. J.* 1979. 229. P. 652—656.
109. Wickramasinghe D. T., Reid I. N., Bessell M. S. Circular spectropolarimetry of VV Puppis // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1984. 211. P. 37P—41P.
110. Wickramasinghe D. T., Visvanathan N. A cyclotron interpretation of the absorption spectrum of VV Puppis // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1980. 191. P. 589—598.
111. Herbig G. H. Observations and an interpretation of VV Puppis // *Astrophys. J.* 1960. 132. P. 76—86.
112. Visvanathan N., Wickramasinghe D. T. VV Puppis in an active phase // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1981. 196. P. 275—288.
113. Cowley A. P., Crampton D., Hutchings J. B. Time-resolved spectroscopy of VV Puppis // *Astrophys. J.* 1982. 259. P. 730—739.
114. Visvanathan N., Wickramasinghe D. T. Absorption spectrum of the accretion column in VV Puppis // *Nature.* 1979. 281. P. 47—48.
115. Mitrofanov I. G. Emission feature 3470Å of VV Pup may be a cyclotron line // *Nature.* 1980. 283. P. 176—177.
116. Tapia S. 2A 0311—227 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1979. N 3327.
117. The optical identification of 2A 0311—227 with a new AM Herculis-type object / R. E. Griffiths, M. J. Ward, J. C. Blades et al. // *Astrophys. J.* 1979. 232. P. L27—L31.
118. Hearn D. R. 2A 0311—227 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1979. N 3326.
119. Charles P. A., Mason K. O. Soft X-ray emission from 2A 0311—227 // *Astrophys. J.* 1979. 232. P. L25—L26.
120. White N. E. An 81 minute modulation of the X-ray flux from 2A 0311—227 // *Astrophys. J.* 1981. 244. P. L85—L88.
121. Williams G., Hiltner W. A. Light curve of the optical counterpart of 2A 0311—227 // *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1980. 92. P. 178—182.
122. Bond H. E., Chanmugam G., Grauer A. D. High-speed photometry of the new AM Herculis-type binary 2A 0311—227 // *Astrophys. J.* 1979. 234. P. L113—L116.
123. Allen D. A., Ward M. J., Wright A. E. The eclipsing AM Herculis star 2A 0311—227 // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1981. 195. P. 155—164.
124. Watson M. J., Mayo S. K., King A. The optical light curve of the AM Herculis system 2A 0311—227 // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1980. 192. P. 689—696.
125. Patterson J., Williams G., Hiltner W. A. The amazing X-ray light curve of 2A 0311—227 // *Astrophys. J.* 1981. 245. P. 618—623.
126. Bailey J., Hough J. H., Axon D. J. IR photometry and polarimetry of 2A 0311—227 // *Nature.* 1980. 285. P. 306—308.
127. Warner B. High speed photometry of 2A 0311—227 // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1980. 191. P. 43P—45P.
128. Simultaneous optical photometric and spectroscopic observations of 2A 0311—227 / F. Verbunt, E. P. J. van den Heuvel, T. J. van der Linden et al. // *Astron. and Astrophys.* 1980. 86. P. L10—L13.
129. Williams G., Hiltner W. A. Further photometric observations of 2A 0311—227 // *Astrophys. J.* 1982. 252. P. 277—284.
130. A multiwavelength study of the AM Herculis type binary 2A 0311—227 / J. Bailey, J. H. Hough, D. J. Axon et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1982. 199. P. 801—815.
131. Visual and near infrared photometry of 2A 0311—227 / C. Motch, J. van Paradijs, H. Pedersen et al. // *Astron. and Astrophys.* 1982. 110. P. 316—323.
132. Optical counterpart of 2A 0311—227 / G. Williams, M. Johns, C. Price et al. // *Nature.* 1979. 281. P. 48—49.
133. Watson M. G., King A. R., Williams G. A. X-ray and optical flickering in EF Eri // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1987. 226. P. 867—878.
134. Piirola V., Reiz A., Coyne G. V. Simultaneous five color (UBVRI) polarimetry of EF Eri // *Astrophys. and Space Sci.* 1987. 130. P. 197—201.
135. Beuermann K., Stella L., Patterson J. EINSTEIN observations of EF Eridani (2A 0311—227), the textbook example of AM Herculistype systems // *Astrophys. J.* 1987. 316. P. 360—376.
136. Larsson S. Discovery of 2—3s quasi-periodic oscillations in EF Eri // *Astron. and Astrophys.* 1987. 181. P. L15—L17.
137. Cropper M. Simultaneous linear and circular polarimetry of EF Eri // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1985. 212. P. 709—721.

138. The magnetic field strength in the emission line region of the AM Her system EF Eridani (2A 0311-227) / W. Seifert, R. Östreicher, G. Wunner et al. // *Astron. and Astrophys.* 1987. **183**. P. L1-L2.
139. Schneider D. P., Young P. The magnetic maw of 2A 0311-227 // *Astrophys. J.* 1980. **238**. P. 946-954.
140. Bailey J., Ward M. Spectroscopy of the AM Herculis type binary 2A 0311-227 // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1981. **196**. P. 425-434.
141. Crampton D., Hutchings J. B., Cowley A. P. Spectroscopy of the magnetic cataclysmic variable 2A 0311-227 // *Astrophys. J.* 1981. **243**. P. 567-575.
142. Coe M. J., Wickramasinghe D. T. UV observations of X-ray sources 2A 0311-227 and 2A 0526-328 // *Nature*. 1981. **290**. P. 119-120.
143. 2A 0311-227 (EF Eridani): radial velocities of two emission line components // P. Young, D. P. Schneider, W. L. W. Sargent et al. // *Astrophys. J.* 1982. **252**. P. 269-276.
144. The complex emission-line structure in the magnetic white dwarf binary 2A 0311-227 (EF Eridani) / J. B. Hutchings, A. P. Cowley, D. Crampton et al. // *Astrophys. J.* 1982. **252**. P. 690-696.
145. Mukai K., Charles Ph. The emission line profiles of 2A 0311-227 // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1985. **212**. P. 609-621.
146. Östreicher R., Seifert W. A third harmonic in the radial velocity of the AM Her system EF Eridani (2A 0311-227) // *Astron. and Astrophys.* 1988. **190**. P. L29-L31.
147. Cataclysmic variable candidates from the Palomar Green Survey / R. F. Green, D. H. Ferguson, J. Liebert et al. // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1982. **94**. P. 560-564.
148. PG 1550+191: a new AM Herculis type binary system / J. Liebert, H.S. Stockman, R. E. Williams et al. // *Astrophys. J.* 1982. **256**. P. 594-604.
149. La Dous C., Schoembs R. Photometric observations of the AM Herculis system MR Serpentis-PG 1550+191 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1987. N 3068.
150. Mukai K., Charles P. A. Orbital motion of the secondary in three AM Her systems: evidence for low-mass white dwarfs // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1987. **226**. P. 209-235.
151. Romano G. Photographic observations of the magnetic binary system PG 1550+191 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1983. N 2265.
152. Войханская Н. Ф. PG 1550+191 — новый объект типа AM Геркулеса // *Письма в Астрон. журн.* 1985. **11**. С. 916-923.
153. Mukai K., Charles P. A., McPherson N. PG 1550+191 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1985. N 4082.
154. Echevarria J., Jones D. H. P., Costero R. Spectrophotometry of PG 1550+191 at red wavelengths // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1982. **200**. P. 23P-26P.
155. Szkody P., Liebert J., Panek R. J. IUE results on the AM Herculis stars CW 1103, E 1114, and PG 1550 // *Astrophys. J.* 1985. **293**. P. 321-327.
156. Mukai K., Charles P. A. Detection of the secondary star in three AM Her systems // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **222**. P. 1P-8P.
157. Thomas H.-C., Beuermann K., Schwöpe A. Zeeman absorption and multicomponent emission lines in the spectrum of the polar MR Ser (PG 1550+191) // *Mitt. Astron. Ges.* 1987. **70**. P. 368.
158. The new eclipsing magnetic binary system E 1114+182 / P. Biermann, G. D. Schmidt, J. Lieberte et al. // *Astrophys. J.* 1985. **293**. P. 303-320.
159. Schaaf R., Pietsch W., Biermann P. EXOSAT observations of the magnetic binary system E 1114+182 // *Astron. and Astrophys.* 1987. **174**. P. 357-358.
160. Visvanathan N., Pickles A. J. Optical identification of X-ray source H 0139-68 with an AM Herculis-type system // *Nature*. 1982. **298**. P. 41-44.
161. Visvanathan N., Hillier J., Pickles A. H 0139-68 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1982. N 3658.
162. Visvanathan N., Tuohy I. R. H 0139-68 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1982. N 3720.
163. H 0139-68 / J. Bailey, A. B. Gilels, D. J. Watts et al. // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1982. N 3720.
164. Agrawal P. C., Riegler G. R., Rao A. R. A new AM Her-like X-ray source // *Nature*. 1983. **301**. P. 318-320.
165. Pickles A. J., Visvanathan N. H 0139-68: high-speed optical photometry of an AM Herculis type binary system // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1983. **204**. P. 463-470.
166. Thorstensen J. R., Schommer R. A., Charles P. A. Simultaneous spectroscopy and photometry of the AM Herculis-like star H 0139-68 // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1983. **95**. P. 140-146.
167. Cropper M. Polarimetry of BL Hyi (H 0139-68) in high and low states // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1987. **228**. P. 389-399.
168. Visvanathan N., Tuohy I. Linear polarization measurements of the AM Herculis objects H 0139-68 and E 1405-451 // *Astrophys. J.* 1983. **275**. P. 709-712.
169. Menzies J. W. H 0139-68 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1983. N 3846.
170. Tuohy I. R., Visvanathan N., Wickramasinghe D. T. Photometry, polarimetry, and spectroscopy of AM Herculis variables H 0139-68 and E 1405-451 // *Astrophys. and Space Sci.* 1986. **118**. P. 291-294.
171. Visvanathan N., Bessell M. S., Wickramasinghe D. T. H 0139-68 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1984. N 3923.

172. Cowley A. P., Hutchings J., Crampton D. H 0139-68 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU*. 1983. N 3895.
173. Schwoppe A., Beuermann K. X-ray and optical observations of the AM Her star H 0139-68 // *Astrophys. and Space Sci.* 1987. **132**. P. 637-640.
174. Pirola V., Reiz A., Coyne G. V., S. J. Five-colour (*UBVRI*) polarimetry of H 0139-68=BL Hydri // *Astron. and Astrophys.* 1987. **185**. P. 189-195.
175. Visvanathan N. H 0139-68 (BL Hyi) // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU*. 1985. N 4134.
176. Hutchings J. B., Cowley A. P., Crampton D. Continuous time-resolved spectroscopy of the AM Herculis binary H 0139-68 // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1985. **97**. P. 423-427.
177. Wickramasinghe D. T., Visvanathan N., Tuohy I. R. The magnetic field of the AM Herculis object H 0139-68 // *Astrophys. J.* 1984. **286**. P. 328-331.
178. Андронов И. Л., Яворский Ю. Б. Фотометрическое исследование звезды типа AM Геркулеса E 2003+225 // *Письма в Астрон. журн.* 1983. **9**. С. 556-558.
179. Fuhrmann B. Optische Beobachtungen der Röntgenquelle E 2003+225 // *Mitt. veränderl. Sterne*. 1984. **10**. P. 97-101.
180. E 2003+225: a 3^b42^m AM Herculis type binary system / J. A. Nousek, L. O. Takalo, G. D. Schmidt et al. // *Astrophys. J.* 1984. **277**. P. 682-691.
181. A multi-wavelength study of the long-period AM Her system E 2003+225. I: The soft X-ray light curve and overall energy spectrum / J. P. Osborne, J. M. Bonnet-Bidaud, S. Bowyer et al. // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **221**. P. 823-838.
182. A multi-wavelength study of the long-period AM Her system E 2003+225. II. Changes in the accretion geometry / K. Mukai, J. M. Bonnet-Bidaud, P. A. Charles et al. // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **221**. P. 839-856.
183. A new soft X-ray mode in the AM Herculis object E 2003+225 / J. P. Osborne, K. Beuermann, P. Charles et al. // *Astrophys. J.* 1987. **315**. P. L123-L127.
184. McCarthy P., Bowyer S., Clarke J. T. Time-resolved spectrophotometry of the AM Herculis system E 2003+225 // *Astrophys. J.* 1986. **311**. P. 873-881.
185. Войханская Н. Ф. Спектральное исследование двойной системы типа AM Геркулеса E 2003+225 // *Письма в Астрон. журн.* 1986. **12**. С. 468-474.
186. CW 1103+254 a new cataclysmic at high galactic latitude / S. N. Shore, C. B. Foltz, A. J. Wasilewski et al. // *Publs. Astron. Soc. Pacif.* 1982. **94**. P. 682-689.
187. Identification of CW 1103+254 as a new magnetic variable / H. S. Stockman, C. B. Foltz, G. D. Schmidt et al. // *Astrophys. J.* 1983. **271**. P. 725-734.
188. Götz W. Optical behaviour of the polar ST Leonis Minoris=CW 1103+254 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars*. 1985. N2735.
189. Götz W. Optical behaviour of the polar ST Leonis Minoris=CW 1103+254 in 1986 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars*. 1986. N 2955.
190. Götz W. Optical behaviour of the polar ST Leonis Minoris=CW 1103+254 in the season 1986/87 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars*. 1987. N 3067.
191. Miller H. R. Photometry of the newly identified AM Herculis system CW 1103+254 // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1982. **201**. P. 21P-24P.
192. An optical and nearinfrared study of the AM Herculis-type binary CW 1103+254 / J. Bailey, D. J. Watts, M. R. Sherrington et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1985. **215**. P. 179-196.
193. Beuermann K., Stella L. X-ray variability of the AM Her star CW 1103+254 // *Space Sci. Rev.* 1985. **40**. P. 139-141.
194. Cropper M. Polarimetry of ST LMi (CW 1103+254) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **222**. P. 853-870.
195. Schmidt G. D., Stockman H. S., Grandi S. A. Magnetism in the AM Herculis variable CW 1103+254 // *Astrophys. J.* 1983. **271**. P. 735-743.
196. Поведение эмиссионных линий в спектре поляр CW 1103+254 / Н. Ф. Войханская, Ю. Н. Гведин, Н. В. Борисов и др. // *Письма в Астрон. журн.* 1987. **13**. С. 495-501.
197. Jensen K. A., Nousek J. A., Nugent J. J. H 1409-45: a recurrent soft X-ray transient // *Astrophys. J.* 1982. **261**. P. 625-630.
198. Optical identification of the X-ray source E 1405-451: a 101.5 minute binary system with extremely rapid quasi-periodic variability / K. O. Mason, J. Middleditch, F. A. Cordova et al. // *Astrophys. J.* 1983. **264**. P. 575-582.
199. Tapia S. E 1405-451 // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU*. 1982. N 3685.
200. The AM Herculis - type binary E 1405-451 / J. Bailey, D. J. Axon, J. H. Hough et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1983. **205**. P. 1P-7P.
201. Cropper M., Menzies J. M., Tapia S. E 1405-451: three seasons of polarimetry and photometry // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **218**. P. 201-222.
202. Coordinated UV and optical observations of the AM Herculis object E 1405-451 in the high and low states / L. Maraschi, A. Treves, E. G. Tanzi et al. // *Astrophys. J.* 1984. **285**. P. 214-222.
203. Tuohy I. R., Visvanathan N., Wickramasinghe D. T. The geometry of the AM Herculis variable E 1405-451 // *Astrophys. J.* 1985. **289**. P. 721-725.
204. Orbital and fast variability of the AM Her system H 1405-45 in the X-ray and optical ranges / J. M. Bonnet-Bidaud, K. Beuermann, P. Charles et al. // *Recent results on cataclysmic variables: import. IUE and EXOSAT results cataclysmic variables and low-mass X-ray binaries: proc. ESA workshop. Bamberg, 17-19 Apr., 1985. Paris, 1985. P. 155-159.*

205. Wickramasinghe D. T., Tuohy I. R., Visvanathan N. Absorption features from the accretion column in E 1405-451 // *Astrophys. J.* 1987. **318**. P. 326-336.
206. Osborne J. P., Cropper M., Cristiani S. Changes in the soft and hard X-ray light curves of the AM Her object E 1405-451 // *Astrophys. and Space Sci.* 1987. **131**. P. 643-649.
207. Detection of the AM Her type cataclysmic variable V 834 Cen at radio wavelengths / A. E. Wright, M. Cropper, R. T. Stewart et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1988. **231**. P. 319-324.
208. Larsson S. The 2-second optical variability in E 1405-451: origin and coherency // *Astron. and Astrophys.* 1985. **145**. P. L1-L3.
209. Larsson S. Properties of the optical 2-second oscillations in E 1405-451 // *Astrophys. and Space Sci.* 1987. **130**. P. 187-192.
210. Preliminary results of coordinated optical, UV and X-ray observations of magnetic white dwarfs in binaries / L. Maraschi, K. Beuermann, J. M. Bonnet-Bidaud et al. // *Proc. 4th European IUE Conference*, 15-18 May 1984. Rome, 1984. P. 427-430.
211. Nousek J. A., Pravdo S. H. IUE observations of E 1405-451: a new AM Herculis type cataclysmic variable // *Astrophys. J.* 1983. **266**. P. L39-L43.
212. Rosen S. R., Mason K. O., Cordova F. A. Phase-resolved optical spectroscopy of the AM Her system E 1405-451 // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1987. **224**. P. 987-1006.
213. Takalo L. O., Nousek J. A. Phase-resolved IUE observations of AM Herculis system E 1405-451 // *Astrophys. J.* 1988. **327**. P. 328-334.
214. Time-resolved optical spectroscopy of AM Her X-ray sources / M. Mouchet, S. F. van Amerongen, J. M. Bonnet-Bidaud et al. // *Astrophys. and Space Sci.* 1987. **131**. P. 613-624.
215. H 0538+608: a bright AM Herculis-type X-ray source / R. A. Remillard, H. V. Bradt, J. E. McClintock et al. // *Astrophys. J.* 1986. **302**. P. L11-L15.
216. X-ray, UV and optical observations of the unusual AM Her type variable H 0538 +608 / R. A. Remillard, J. E. McClintock, D. Q. Lamb et al. // *Bull. American. Astron. Soc.* 1987. **19**. P. 1058.
217. Mason P. A., Liebert J. W., Schmidt G. D. Near simultaneous polarimetry and phase-resolved spectroscopy of the AM Her system H 0538 +608 // *Commis. 27 IAU Inform. bull. var. stars.* 1987. N3104.
218. Bonnet-Bidaud J. M., Mouchet M. The anomalous ultraviolet spectrum of the AM Her star H 0538 +608 // *Astron. and Astrophys.* 1987. **188**. P. 89-94.
219. 1E 1048.5+5421: a new 114 minute AM Herculis binary / S. L. Morris, G. D. Schmidt, J. Liebert et al. // *Astrophys. J.* 1987. **314**. P. 641-652.
220. The discovery of the 2 hour modulated X-ray source EXO 033319-2554.2, an AM Herculis system / J. P. Osborne, P. Giommi, L. Angelini et al. // *Astrophys. J.* 1988. **328**. P. L45-L50.
221. Beuermann K., Thomas H.-C., Schwobe A. EXO 033319-2554.2: a 55-MG eclipsing AM Herculis binary // *Max-Planck Inst. MPE prep.* 1988. N114.
222. EXO 033319-2554.2 / L. Ferrario, D. T. Wickramasinghe, I. R. Tuohy et al. // *Circ. Cent. Bur. Astron. Telegrams IAU.* 1988. N 4523.
223. Berriman G., Smith P. S. Circular polarimetry of EXO 033319-2554.2: a new eclipsing AM Herculis star // *Astrophys. J.* 1988. **329**. P. L97-L101.
224. EXO 033319-2554.2 / J. Bailey, L. Ferrario, I. R. Tuohy et al. // *Circ. Cent. Astron. Telegrams IAU.* 1987. N 4517.
225. EXO 023432-5232.3: a new 114-minute probable AM Herculis-type binary / K. Beuermann, H. C. Thomas, P. Giommi et al. // *Astron. and Astrophys.* 1987. **175**. P. L9-L12.
226. EXO 023432-5232.3 an eclipsing AM Herculis binary / J. Bailey, D. T. Wickramasinghe, J. H. Nough et al. // *Anglo-Australian observ. prepr.* 1988. N 227.
227. Войханская Н. Ф. Сравнение характеристик карликовых новых, новоподобных и полярнов. Новый критерий поиска полярнов // *Письма в Астрон. журн.* 1987. **13**. С. 597-602.
228. Wickramasinghe D. T., Meggitt S. M. A. An analysis of the cyclotron spectrum and polarization properties of VV Puppis // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1982. **198**. P. 975-983.
229. Wickramasinghe D. T., Martin B. The magnetic field of AM Herculis // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1985. **212**. P. 353-358.
230. Войханская Н. Ф. Повторная новая WZ Стрелы // *Астрон. журн.* 1983. **60**. С. 938-945.
231. Митрофанов И. Г., Павлов Г. Г. Критическая светимость компактных звезд с сильным магнитным полем // *Астрон. журн.* 1981. **58**. С. 309-311.
232. Gnedin Y. N., Nagel W. Critical luminosity of a magnetic neutron star // *Astron. and Astrophys.* 1984. **138**. P. 356-358.
233. Sawada K., Matsuuda T., Hachisu I. Spiral shocks on a Roche lobe overflow in a semidetached binary system // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. **219**. P. 75-88.
234. Stockman H. S., Schmidt G. D., Lamb D. Q. V 1500 Cygni: discovery of a magnetic nova // *Astrophys. J.* 1988. **332**. P. 282-286.

Поступила в редакцию
1 ноября 1988 г.