АСТРОФИЗИКА

ТОМ 20 ИЮНЬ, 1984 ВЫПУСК 3

УДК 524.33—355

БАЛЬМЕРОВСКИЕ ЛИНИИ В СПЕКТРЕ Р ЛЕБЕДЯ. ДИЛЕММА ОПИСАНИЯ ПЕРЕМЕННОСТИ

Н. МАРКОВА, И. КОЛКА

Поступила 11 мая 1983
Принята к печати 20 января 1984

Измерения 32 спектров звезды Р Лебедя, полученных в 1981 г. в фокусе куде 2-метрового телескопа Болгарской академии наук, показали, что переменность тонкой структуры абсорбционных компонентов водородных линий можно описать двумя способами — перемещением компонентов тонкой структуры друг за другом от центра линии к ее фиолетовому крылу, либо периодическим изменением лучевой скорости четырех компонентов, находящихся попарно в противофазе.

1. *Введение.* В недавней работе [1] один из авторов настоящей статьи дал новое истолкование явления переменности лучевых скоростей линий водорода в спектре звезды Р Лебедя, указав на возможность списания этого явления перемещением абсорбционных компонентов линий друг за другом от центра линий к их фиолетовым крыльям. В другой работе [2] было найдено, что на спектрах достаточно высокого спектрального разрешения (9 А/мм) можно выделить по количеству больше компонентов поглощения (тонкая структура), поведение которых, по-видимому, сложнее, чем это предполагалось в статье [1], а также в исследованиях де Гроота [3] и Лууда и др. [4]. В настоящей статье изучены изменения лучевых скоростей компонентов тонкой структуры на основе увеличенного по сравнению с работой [2] количества спектров с целью выяснения истинного поведения этих компонентов. Нами использовались 32 спектра, охватывающие период с марта по ноябрь 1981 г. Во второй части данной работы характеризуется качество наблюдательного материала и описываются измерения лучевых скоростей компонентов тонкой структуры. Обсуждение результатов измерений изложено в третьей части статьи, в которой после анализа возможных систематических ошибок из-за блендирования другими линиями показано, что предложенный в работе [1] вариант описания переменности требует некоторых дополнений, но возможен также существенно отличающийся от этого второй вариант с четырьмя кривыми периодических колебаний лучевых скоростей. В заключении приведены рассуждения о возможных

направлениях дальнейшего изучения переменности лучевых скоростей, способствующих в выборе между найденными вариантами описания этого явления.

2. *Наблюдательный материал. Измерение лучевых скоростей.* Все 32 спектрограммы получены в фокусе куде 2-метрового телескопа Национальной астрономической обсерватории Болгарской академии наук. Использовались фотопластинки Кодак IIa-O, дисперсия 9 А/мм на спектрах, охватывающих область от 3400 до 4800 А. Ширина монохроматического изображения щели спектрографа достигла на спектрах 0.18 А. По ряду причин распределение моментов наблюдений во всем охватываемом периоде неравномерное. Это обстоятельство сказалось при интерпретации результатов измерений.

Опыт упомянутых во введении работ показал, что целесообразно отобрать для измерения высокие члены серии Бальмера, начиная с H_9, поскольку у первых членов серии до H_8 интенсивный эмиссионный компонент заполняет абсорбционную часть линий, искажая этим измерения компонентов поглощения. Мы определяли лучевые скорости абсорбционных компонентов линий H_9, H_{10}, H_{11}, измеряя положения выбранных деталей в этих линиях с помощью построения соответствующих профилей с шагом 10 мкм на спектре. Таким же образом найдены положения линий спектра сравнения, источником которого служила лампа полостного катода с аргоновым наполнением. Несмещенная шкала длин волн определялась с помощью фиксированных и всегда одних и тех же линий сравнения.

Уже в работе [2] отмечалось, что число компонентов поглощения у измеренных линий может часто доходить до четырех. Обычно разным авторам удавалось наблюдать только два или три компонента, хотя и ранее имелись указания на то, что существует структура с большим числом компонентов [5]. Главной причиной этого расхождения может быть неодинаковая разрешающая способность спектров разных авторов. Мы судили о реальности наличия любого данного компонента по двум критериям: а) компонент должен был быть виден у всех трех линий; б) лучевые скорости этого компонента у трех линий должны были совпасть с определенной точностью, не позволяющей перепутать разные компоненты между собой.

Если первое условие строго не выполнялось, то дополнительным критерием служило наличие данного компонента на близких по времени спектрах. Таким образом получены данные, которые сведены в табл. 1. Там приведены абсолютные значения гелиоцентрической лучевой скорости всех измеренных компонентов с указанием юлианской даты наблюдения. В этой таблице скобками выделены те лучевые скорости, которые явно соответствуют бленде из двух соседних компонентов. Другой причиной расхожде-

ния в числе компонентов у линий на одном спектре является слабость измеримых деталей, не всегда позволяющая определить их положения. В таких случаях в табл. 1 данные отсутствуют.

Таблица 1

JD	Лучевая скорость (км/с)											
	H_9				H_{10}				H_{11}			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2 444 690	142	202							149			
„ 708	133	171	208		125	163	216		(116)	173	212	
„ 710	134	172	209		126	169	217		106	134	167	210
„ 711	105	140	179	214	112	130	165	212	108	162	216	
„ 716	106	134	177	216	(116)	214			(116)	177	216	
„ 718	(113)	175	220		(112)	167	214		(120)	179	221	
„ 742	101	148	178		94	(142)	201		114	149	189	224
„ 743	113	184	221		104	131	180		102	149	185	220
„ 744	113	188			(147)	189			116	144	186	216
„ 745	(129)	185			131	176	223		(132)	180	218	
„ 750	120	(173)			94	136	176	201	118	165	192	216
„ 753	115	197			(121)	182	217		170	196	216	
„ 768	134	165	205		103	132	201		129	163	203	
„ 772	132	169	213		102	131	206		102	139	165	208
„ 781	89	125	167	217	90	128	210		126	216		
„ 804	115	146	187	213	142	216			(130)	218		
„ 809	122	152	192	215	105	144	212		107	140	187	
„ 810	119	144	185	211	115	135	207		107	142	189	217
„ 825	122	140	167	207	115	156	205		121	146	164	216
„ 826	(135)	205			128	201			(125)	158	211	
„ 827	118	138	167	211	114	139	206		116	131	166	196
„ 830	119	145	172	213	110	136	155	220	104	150	180	220
„ 833	127	148	170	207	129	152	219		111	146	177	217
„ 835	123	152	180	210	133	150	220		94	150		
„ 853	151	198			95	144	159	207	95	177		
„ 858	101	137	161	196	88	135	167	202	87	137	160	184
„ 851	114	171	198		(144)	211			98	140	162	
„ 862	161				127	156	224		158			
„ 868	121	162	211		111	162	213		113	159	214	
„ 886	139	169	216		92	122	169		125	173	214	
„ 896	105	133	177	217	96	122	176		104	129	177	212
„ 923	117	139	181		137	173			143			

Надежность наших результатов можно оценить, если предполагать равенство скоростей соответствующих компонентов линий H_9, H_{10}, H_{11} в данный момент наблюдений. (Обсуждение влияния линий других ионов, могущего опровергнуть это предположение, приведено в следующем разделе данной статьи). Исходя из этого, мы нашли, что средняя скорость компонента с наибольшей глубиной определяема с ошибкой в пределах $\pm$ 6 км/с. Скорости более слабых компонентов согласуются между собой несколько хуже, но, по нашему мнению, полученные данные подтверждают, что в общем случае использованные спектры имеют достаточно высокое разрешение для обнаружения и измерения тонкой структуры у линий водорода. На рис. 1 показана эта структура в трех линиях на четырех из 32 спектров. Там можно также проследить, какие вариации профилей возможны за трехсуточный интервал времени.

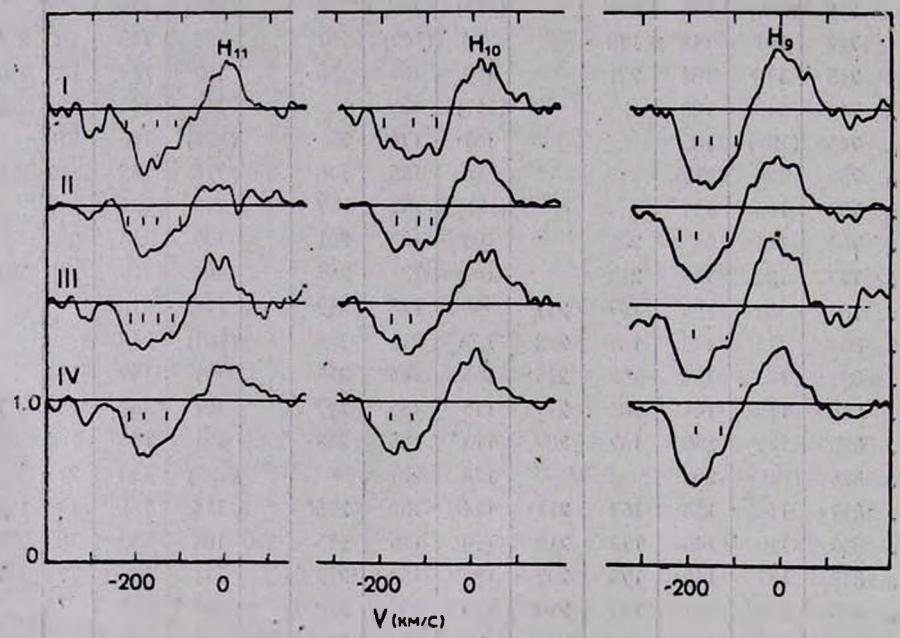

Рис. 1. Профили линий на спектрах, полученных через сутки: I — JD 2 444 742; II — . ... 743; III — . ... 744; IV — . ... 745. Отмечены положения измеренных компонентов.

3. Обсуждение результатов. Прежде чем указать на возможности описания поведения некоторого фиксированного компонента во времени, мы остановимся на вопросе о влиянии линий других ионов на получаемые результаты. На основе просмотра спектрограмм мы нашли, что линии H_9, H_{10} и H_{11} могут быть блендированы линиями He I 3833.57 A, Si III 3796.11 A и He I 3768.81 A соответственно. При этом линии гелия относятся к серии

$2^1P^o-n^1D$, члены которой с длинами волн 3871.82, 3784.89 и 3756.10 А действительно видны на наших спектрах как линии поглощения, хотя последние две из них слабы. В свою очередь линии двукратно ионизованного кремния 3791.41 и 3806.56 А того же мультиплета, что и вышеприведенная линия Si III, имеют профили типа P Лебедя, хотя также с малой интенсивностью. Сдвиг и асимметрия блендирующих линий, которые оценены с помощью соседних с этими линиями членов из серии или мультиплета, указывают на возможность систематической ошибки в измерениях лучевой скорости компонентов линий H_9 и H_{11} при абсолютных значениях около 150 км/с и выше, а линии H_{10} при значениях около 100 км/с и выше. Подчеркнем, что по таким оценкам максимум влияния бленды расположен в далеком фиолетовом крыле линий H_9 и H_{11}, за верхним пределом ($\sim$ 230 км/с) наших измерений. Несколько иначе влияет бленда на линию H_{10}, потому что линия Si III 3796.11 А имеет и эмиссионный компонент. Сопоставление данных табл. 1 также указало на худшую согласованность скоростей компонентов линии H_{10} со скоростями, найденными для остальных линий, чем согласованность последних между собой. Поэтому мы решили исключить измерения линии H_{10} из дальнейшего анализа. Для линий H_9 и H_{11} сделана попытка оценить величину ошибки из-за блендирования. С этой целью мы сравнили данные из табл. 1 с дополнительными измерениями компонентов линии H_{14}, которая считается свободной от постороннего влияния. Эта линия заметно слабее выбранных нами других линий, но ее структурные детали еще измеримы. В работе [2] показано, что профиль и скорости компонентов линии H_{14} в пределах ошибок те же, что и у других линий. К аналогичному заключению пришли и мы, изучая выборку из 16 спектров. По-видимому, систематические ошибки меньше случайных ошибок измерения.

Опираясь на вышеприведенные рассуждения, мы решили усреднить данные по H_9 и H_{11}, чтобы исследовать характер поведения компонентов во времени. На рис. 2 показана одна возможность объединения соседних групп результатов измерений в «кривые сдвигов компонентов», которая соответствует предположению, сделанному в работе [1]. В таком случае лучевая скорость данного компонента имеет тенденцию возрастать с момента его появления на участке перехода от эмиссионной к абсорбционной части спектральной линии и до его исчезновения в синем крыле суммарного компонента поглощения. На основе данных табл. 1 в дополнение к сказанному на рис. 2 вырисовывается картина предполагаемого слияния и расщепления компонентов тонкой структуры. Кроме того, можно отметить наличие кратковременной переменности взаимного положения компонентов в пределах одной группы наблюдений, которая охватывает в среднем период 10 дней. Таких явлений не удавалось обнаружить на спектрах более

низкого разрешения. Можно заключить, что имело бы смысл получить ряд спектров за одну ночь, чтобы выявить возможность наличия еще более короткого характерного интервала времени в изменениях лучевой скорости. Что касается гипотезы об однонаправленности сдвига компонентов, то добавим, что ход наиболее интенсивного из них, который выделен на рис. 2, по-видимому, свидетельствует в пользу этой идеи.

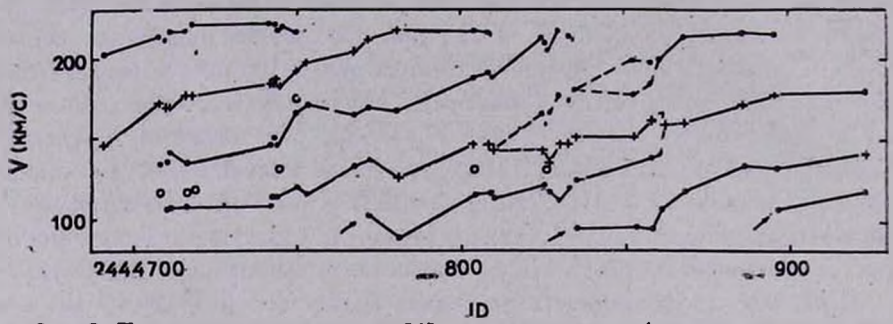

Рис. 2. Предполагаемый, согласно [1], ход компонентов (первый вариант описания переменности). ● и + — усредненные по H_0 и H_{II} данные из табл. 1 (+ компонент с наибольшей глубиной), ○ — положение бленды; - - - - — предполагаемое слияние и расщепление компонентов; → — предполагаемый вход нового компонента в «зону измерений».

Анализ данных табл. 1 и рис. 2 показывает, что истолкование поведения линий H_0 и H_{II} неоднозначно из-за «провалов» между отдельными периодами наблюдений. Тем не менее повторяемость расположения компонентов на шкале скоростей через определенный временной интервал можно использовать для отыскания периода явления. В ходе исследования звезды P Лебедя были предложены периоды 114^d де Гроотом [3] и 57^d Луудом и др. [4]. Результаты наших измерений указывают на заметную периодичность с шагом 114^d (см. рис. 3), хотя разброс данных довольно велик. Мы не стали уточнять длительность периода, потому что в нескольких интервалах по фазе на рис. 3 нет ни одного наблюдения. Кроме того, нет оснований утверждать, что найденная таким образом оценка периода изучаемого явления является единственно возможной. Несмотря на эти недостатки, выявленная картина периодичности привела нас к альтернативному истолкованию изменений лучевой скорости компонентов. Оказалось, что в полосе от 80 км/с до 160 км/с можно выделить два периодических колебания, которые находятся примерно в противофазе. Во второй полосе выше уровня 160 км/с можно также найти аналогичные кривые, но, к сожалению, данные о компоненте с наибольшей скоростью в интервале JD 2 444 742 ... 2 444 753 несовместимы с их ходом. Все 4 кривые показаны

на рис. 4. Подчеркнем, что наши измерения не позволяют сказать, происходит ли в ходе «движения» компонентов предполагаемое в таком случае их наложение или нет. Необходимо охватить наблюдениями по возможности все фазы предполагаемого периодического явления, чтобы выявить его истинный характер или его существование вообще.

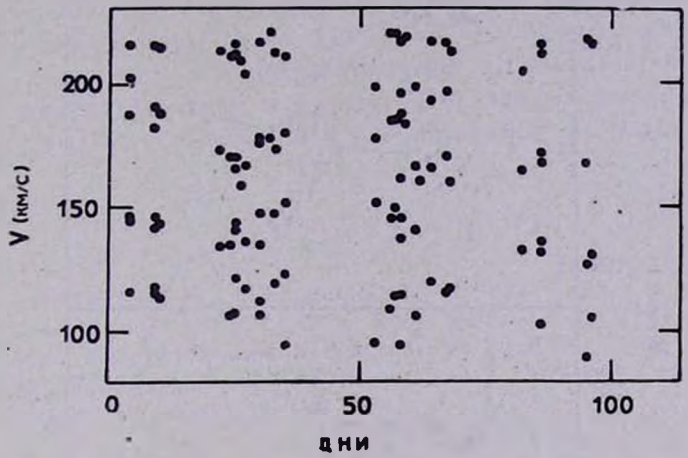

Рис. 3. Расположение результатов измерений (табл. 1) на диаграмме с возможным периодом 114^d.

4. *Заключение.* На основе анализа поведения линий водорода не представляется возможным отдать предпочтение одному из предлагаемых в предыдущей части статьи двух вариантов истолкования исследуемого явления. Мы надеемся найти дополнительные свидетельства в пользу одной из двух выдвинутых гипотез после измерения хода лучевых скоростей компонентов поглощения спектральных линий других ионов. По данным Марковой и Лууда [2], эти линии также имеют тонкую структуру. Опираясь на то обстоятельство, что у отмеченных линий эмиссионные компоненты малоинтенсивны, мы надеемся проследить за сдвигами компонентов в интервале меньших скоростей (50 ... 100 км/с). Это почти невозможно для линий водорода, хотя и у них видны трудноизмеримые особенности на участках крутого спада интенсивности при переходе от эмиссии к абсорбции. Если окажется, что иллюстрируемый рис. 2 ход компонентов можно продолжить в сторону меньших скоростей, то следует отдать предпочтение первому варианту описания переменности. Дополнительную информацию об истинном поведении компонентов может дать также организация наблюдений в течение одного-двух месяцев с интервалом между отдельными измерениями не более двух-трех дней.

По нашему мнению, разрешение возникшей дилеммы — дело ближайшего будущего, а продолжение систематических спектральных наблюдений P Лебедя так или иначе целесообразно для выявления устойчивости найденной картины переменности.

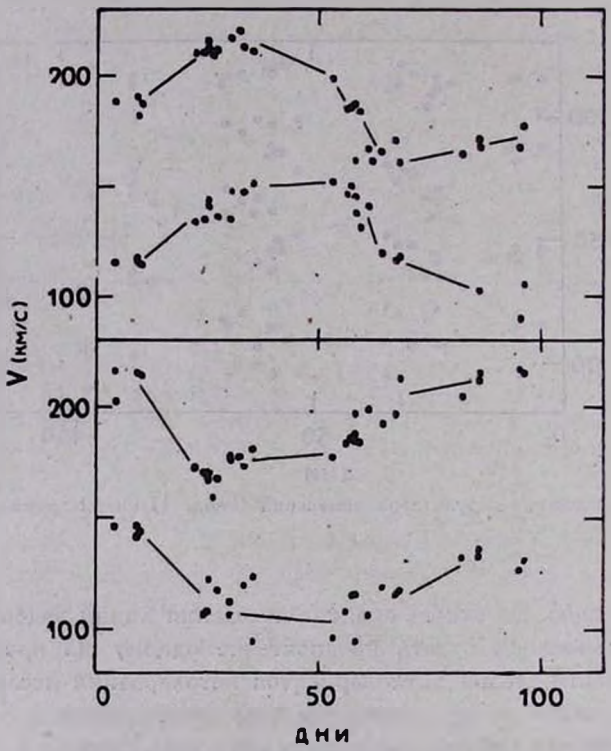

Рис. 4. Разложение суммарного периодического явления (рис. 3) на 4 составляющих (второй вариант описания переменности).

Авторы благодарны И. Пустыльнику за критический просмотр рукописи данной статьи, а также рецензенту за полезные замечания, позволившие улучшить изложение полученных результатов.

Национальная астрономическая обсерватория
Академии наук Болгарской НР
Тартуская астрофизическая обсерватория
им. В. Струве

BALMER LINES IN THE SPECTRUM OF P CYGNI. DILEMMA OF THE INTERPRETATION OF VARIABILITY

N. MARKOVA, I. KOLKA

Measurements of 32 spectra of P Cygni, photographed at the coude focus of the 2-m telescope of the Bulgarian Academy of Sciences, have shown that the fine structure variability of the absorption components of hydrogen lines can be interpreted in two ways—either the fine structure components are being shifted one after another from the line centrum towards its violet wing (fig. 2) or the components' shifts are periodic, forming 4 curves which are oscillating at opposite phases (fig. 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. *I. Kolka*, ENSV TA Toim., Füüs. Matem., 32, 51, 1983.
2. *N. Markova, L. Luud*, ENSV TA Toim., Füüs. Matem., 32, 55, 1983.
3. *M. de Groot*, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 20, 225, 1969.
4. *Л. С. Лууд, О. П. Голландский, Т. Ярыгина*, Публ. Тартуской обс., 43. 250, 1975.
5. *Е. Р. Астафьев*, Астрофизика, 4, 461, 1968.