

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 7

АВГУСТ, 1971

ВЫПУСК 3

О ДВИЖЕНИИ ВЕЩЕСТВА В ОБОЛОЧКЕ Р ЛЕБЕДЯ

Е. Р. АСТАФЬЕВ

Поступила 8 марта 1970

Пересмотрена 5 октября 1970

По пяти спектрограммам высокой дисперсии измерены скорости смещения внешних срезов абсорбционных линий Р Лебеда. Скорости, нормированные по интенсивностям линий, показывают прямую зависимость от потенциала ионизации. Таким образом, стратификация вещества в оболочке Р Лебеда отсутствует. В оболочке Р Лебеда существует замедляющееся движение вещества.

Изучая спектр Р Лебеда, О. Струве обнаружил, что лучевые скорости абсорбционных линий уменьшаются с ростом ионизационных потенциалов [1]. В дальнейшем Ц. С. Билс [2] подтвердил эту зависимость и показал, что:

1. В оболочке звезды существует ускоряющееся наружу движение вещества. Абсорбционные линии с большими потенциалами ионизации образуются в оболочке глубже, чем линии с малыми потенциалами ионизации.

2. Вещество в оболочке Р Лебеда расслоено: „...атомы с большими потенциалами ионизации занимают оболочку малого диаметра относительно центра звезды и наоборот“.

3. Лучевые скорости вершин эмиссионных линий не зависят от ионизационных потенциалов.

Как было показано нами [3], лучевые скорости вершин абсорбционных линий искажены соседней эмиссионной линией и поэтому не могут характеризовать движения вещества в оболочке Р Лебеда. В связи с этим нужно найти новую характеристику движения вещества в оболочке звезды, свободную от влияния эмиссионных линий. Будем

исходить из общепринятой схемы образования линий типа Р Лебеда [4].

Линии типа Р Лебеда образуются в движущейся с ускорением наружу оболочке звезды. Абсорбционный компонент линии образуется в заштрихованной части оболочки *a* (рис. 1А). Он смещен в коротковолновую часть спектра относительно нормального положения линии за счет эффекта Доплера. Центр эмиссионного компонента линии образуется частями оболочки *c* (рис. 1А).

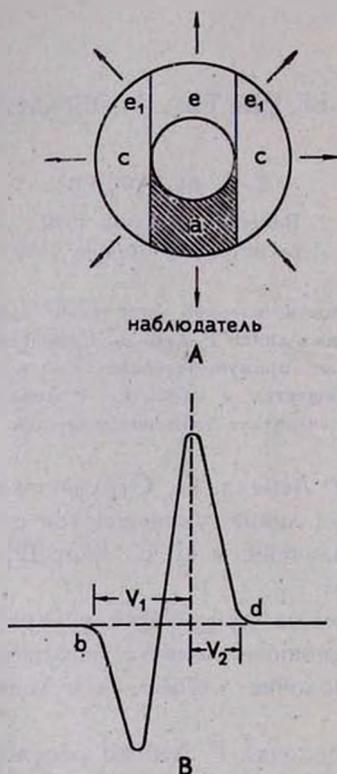


Рис. 1. Схема формирования линий типа Р Лебеда.

В качестве характеристики движения вещества в оболочке звезды, по идее С. В. Рублева, можно принять лучевые скорости V_1 и V_2 внешних „срезов“ *b* и *d* абсорбционного и эмиссионного компонентов спектральных линий Р Лебеда (рис. 1Б).

Известно, что центральные части линий в звездных спектрах определяются доплеровским расширением, а крылья—затуханием излу-

чения. Р Лебеда является сверхгигантом ($M_* = -8^{\text{m}}18$) [5], затухание излучения в ее атмосфере мало и крылья развиты слабо, поэтому смещение коротковолнового „среза“ абсорбционного компонента b (рис. 1Б) характеризует максимальную скорость вещества, приближающегося к наблюдателю, $V_{\text{max}1}$. Поэтому $V_{\text{max}1} = V_1$. Аналогично, смещение длинноволнового „среза“ эмиссионного компонента характеризует скорость вещества, удаляющегося от наблюдателя в части оболочки e_1 (рис. 1А). Лучевые скорости длинноволнового „среза“ эмиссионных компонентов V_2 меньше максимальной скорости удаляющегося от наблюдателя вещества $V_{\text{max}2}$ вследствие экранирования части оболочки центральной звездой.

Уменьшение лучевой скорости удаляющегося от наблюдателя вещества V_2 , определяемой по смещению длинноволнового „среза“ эмиссионного компонента из-за эффекта экранирования, можно оценить с помощью построенных нами [6] теоретических контуров линий типа Р Лебеда в рамках теории тонких оболочек Дж. Роттенберга [7]. Сравнивая лучевые скорости длинноволновых „срезов“ эмиссионных компонентов для случая точечной центральной звезды и для случая, когда радиусы центральной звезды, рекомбинирующей и рассеивающей оболочек сравнимы между собой ($R_0 : R_2 : R_1 = 1.1 : 1.19 : 1.67$), получим при всех прочих равных условиях, что в случае равноускоренного движения вещества в оболочке $V_{\text{max}2} = 1.54 V_2$, равномерно — $V_{\text{max}2} = 1.78 V_2$ и равнозамедленного — $V_{\text{max}2} = 1.90 V_2$.

Непосредственное сопоставление скоростей „срезов“ абсорбционного компонента V_1 с потенциалами ионизации атомов (рис. 2) не позволяет сделать определенного заключения в пользу стратификации излучения из-за чрезвычайно большого рассеяния точек на графике, хотя общая последовательность сгущений точек соответствует той, которая должна наблюдаться при стратификации излучения в оболочке звезды.

Наибольшие скорости V_1 показывают интенсивные линии водорода и гелия, что позволяет предполагать существование зависимости скоростей смещения „срезов“ от интенсивности линий. Явление стратификации излучения, если оно существует, должно наблюдаться в виде обратной зависимости между скоростями смещения „срезов“ линий и потенциалами ионизации и для линий равной интенсивности. Определим скорости смещения „срезов“ линий единичной интенсивности каждого атома V_{n1} , для чего разделим V_1 на интенсивность соответствующей линии.

Построим зависимость нормированных скоростей смещения „срезов“ линий V_{n1} от потенциалов ионизации. При вычислениях $V_{n1} =$

$= V_{\max 1}/I = V_{\max 1}/W \cdot F$, где I — интенсивность линии, W — ее эквивалентная ширина F — функция Планка, отнесенная к единичному интервалу длин волн, $T_{\text{сп}}$ Р Лебеда полагалось, согласно С. В. Рублёву [8], равным 16000° . Величины W и V_1 измерялись по пяти спектрограммам Р Лебеда, полученным в 1964 году И. М. Копыловым на эшелюном спектрографе 2.6 м рефлектора Крымской астрофизической

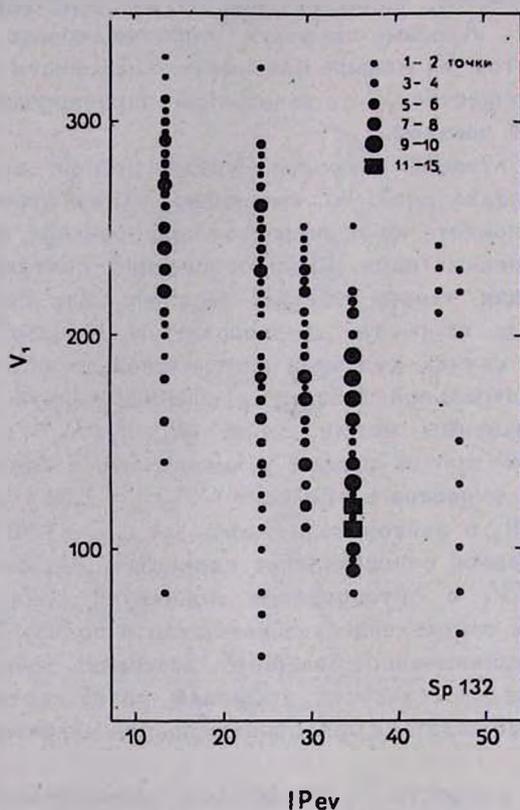


Рис. 2. Зависимость скоростей смещения „срезов“ линий V_1 от потенциала ионизации.

обсерватории с обратной дисперсией 1.33 \AA/мм у $\lambda 4300 \text{ \AA}$. Методика обработки, вероятные ошибки отдельных измерений приведены в [9].

В табл. 1 для спектрограмм №№ 121, 132, 137, 139 и 153 приводятся: длина волны, атом и V_{n1} в $10^{-7} \text{ км/сек:эрг/см}^2\text{сек}$.

Таблица 1

λ	Атом	№ спектрограммы				
		121	132	137	139	153
1	2	3	4	5	6	7
3587.25	He I	23.8	32.7	00.0	00.0	29.8
3590.46	S III	58.3	71.9		24.0	42.6
3600.93	Fe III	24.0	44.1		12.3	21.5
3603.88	Fe III	24.0	42.8		14.8	33.8
3613.64	He I	19.0	8.3		9.3	11.3
3632.02	S III	23.7	20.3		33.1	16.9
3634.24	He I	15.8	17.3		11.9	9.8
3651.12	He I	14.3	25.0	17.2	11.7	17.9
3673.76	H ₂₃	27.6	29.5		37.8	31.5
3676.76	H ₂₂	28.0	32.3		30.1	49.0
3679.36	H ₂₁	33.4	30.9		28.6	32.3
3682.81	H ₂₀	34.0	30.2	18.2	23.4	30.5
3686.83	H ₁₉	28.1	35.6	15.4	20.0	
3691.56	H ₁₈	19.2	23.1	22.2	12.8	17.2
3697.15	H ₁₇		20.1		17.8	14.6
3703.86	H ₁₆	10.4	10.5	9.3	8.9	9.6
3711.97	H ₁₅	24.5	29.7	13.1	11.8	18.2
3721.94	H ₁₄	18.6	18.7	11.8	17.2	15.8
3727.33	O II		49.0		44.1	35.8
3734.37	H ₁₃	14.9	17.8	11.2	8.8	15.0
3750.15	H ₁₂	7.3	7.9	7.7	6.6	7.6
3770.63	H ₁₁	12.0	10.8	7.8	7.6	13.9
3797.90	H ₁₀	11.3	13.1	6.8	8.5	7.7
3806.56	Si III	48.2	35.4		25.9	
3819.61	He I	7.1	9.0	6.9	7.6	10.0
3835.39	H ₉	11.2	9.6	8.7	12.4	9.8
3838.32	S III	38.9	32.9	57.5		46.2
3867.43	He I	30.1	29.5	24.6	30.0	23.3
3871.82	He I	32.0	26.7	21.0	17.8	23.0
3889.03	H ₈	6.9	5.6	5.1	5.8	5.7
3926.53	He I	27.1	32.1		32.1	23.5
3931.94	S II		55.6	55.5	51.8	
3955.85	N II	35.0	24.5	31.0	20.2	26.8
3958.39	A II	33.9	39.6		39.6	
3964.73	He I	10.2	9.0	8.9	14.6	10.5

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
3970.07	H ϵ	6.5	6.3	4.9	6.8	5.0
3973.26	O II	32.9	32.4	41.6	45.4	45.4
3995.00	N II	16.7	10.2	10.0	11.6	11.2
4005.04	Fe III	63.7	64.0	54.0	69.7	69.7
4009.27	He I	23.3	14.1	24.3	17.6	16.3
4026.19	He I	7.3	10.4	7.6	8.0	8.3
4069.90	O II	42.2		42.3	30.2	46.4
4072.16	O II	48.4	40.0	45.7	31.6	45.7
4075.87	O II	45.8	39.1	48.5	48.5	46.2
4085.12	O II	56.9	60.9	58.5	73.1	58.5
4088.86	Si IV	25.7	21.6	34.5	17.6	34.2
4097.31	N III	32.8	27.7	41.6	46.1	26.9
4101.74	H ζ	7.4	7.4	6.3	8.5	6.2
4116.10	Si IV		31.1	18.7		
4120.81	He I	22.2	21.0	24.9	19.1	36.3
4143.76	He I	16.0	13.1	14.0	12.4	14.6
4168.96	He I	58.0	69.1	51.4		
4173.23	N II		60.0			
4237.05	N II		53.6		73.7	58.0
4253.59	S III	27.2	32.4	37.6	34.4	33.4
4284.99	S III	41.5	38.1	41.5	58.8	41.5
4317.14	O II	50.4	44.2		67.7	
4319.63	O II	39.5	40.6	33.6	31.5	
4340.47	H γ	7.2	8.0	6.7	8.2	6.5
4345.56	O II	53.2	49.2	35.9	39.6	49.1
4349.43	O II	17.0	14.8	19.6	18.6	19.2
4351.27	O II	64.7	37.7	43.2	64.7	64.7
4361.53	S II	53.1	58.1	58.0		76.9
4366.90	O II	23.2	25.2	37.4	37.0	38.7
4382.31	Fe III	73.2	61.9		71.0	68.3
4387.93	He I	16.8	12.0	13.7	10.3	15.7
4414.91	O II	29.2		29.1	33.0	40.0
4419.59	Fe III	20.0		15.8	21.0	25.6
4430.95	Fe III	30.2	38.5	28.8	38.2	36.8
4437.55	He I	45.0	50.1	48.5	45.5	50.7
4447.03	N II	56.5	49.6	52.4	51.8	38.8
4471.48	He I	9.0	10.8	9.0	12.0	12.2
4481.33	Mg II	57.8	57.8	62.1	57.8	46.6

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
4547.34	N III	86.0	96.6			
4552.65	Si III	13.1	15.0	14.4	15.2	19.8
4567.87	Si III	16.9	19.6	15.9	14.5	14.8
4574.78	Si III	23.8	22.1	33.4	23.4	30.0
4596.17	O II	38.8	48.4		53.6	66.4
4598.77	A II		59.5	58.3	47.9	64.0
4601.48	N II	35.4	21.2	35.4	26.9	33.3
4607.15	N II	31.8	33.6	24.5	28.7	25.9
4613.87	N II	44.9	40.0	32.1	46.6	38.9
4621.39	N II	39.4	38.6	24.9	29.5	31.6
4630.54	N II	18.2	16.6	15.5	13.7	15.3
4638.85	O II	40.1		46.3		43.9
4643.09	N II	17.1	14.3	15.3	14.2	12.9
4649.14	O II	14.8	11.4	18.2	12.3	
4650.16	C III	29.8	23.0		21.5	
4661.64	O II	27.4	31.4	34.7	30.3	38.4
4676.23	O II	31.7	35.0		26.9	31.4
4705.36	O II	38.8			39.1	
4713.14	He I	20.6	37.4	27.4	29.5	28.6
4861.73	H β	8.8	8.6	7.5	9.9	8.6

В табл. 2 сравниваются лучевые скорости „срезов“ абсорбционных линий V_1 , имеющие равные, в пределах ошибок, центральные интенсивности абсорбционного компонента $R_{св}$ и интенсивности эмиссионного компонента I_e .

Таблица 2

Линия	λ	$R_{св}$	I_e	V_1
H $_{23}$		0.04(\pm 0.01)	1.6(\pm 0.3)	140(\pm 17)
H $_{21}$		0.06(\pm 0.01)	2.1(\pm 0.3)	210(\pm 15)
He I	3867.43	0.10(\pm 0.01)	3.3(\pm 0.4)	180(\pm 18)
He I	3871.82	0.13(\pm 0.02)	3.3(\pm 0.4)	120(\pm 12)
He I	3964.73	0.37(\pm 0.06)	19.0(\pm 2.4)	240(\pm 17)
He I	4026.19	0.44(\pm 0.07)	21.2(\pm 2.7)	270(\pm 14)
O II	3973.26	0.12(\pm 0.02)	1.3(\pm 0.2)	100(\pm 12)
O II	4072.16	0.09(\pm 0.01)	1.2(\pm 0.2)	150(\pm 18)

В скобках указаны вероятные ошибки определений согласно [9]. Вероятные ошибки измерения скоростей смещения „срезов“ абсорбционных линий γ для различных пределов $V_{\text{п1}}$ составляют

Δ км/сек	n^*	r (%)
0—150	25	12
151—200	32	10
201—250	35	7
>251	41	5

Рассмотрение результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что линиям с одинаковыми, в пределах ошибок, центральными интен-

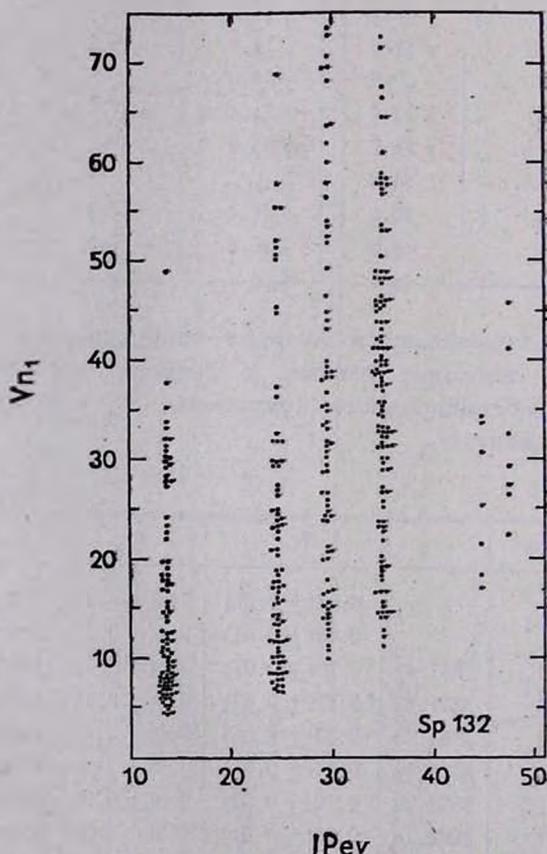


Рис. 3. Зависимость скоростей смещения „срезов“ абсорбционных линий $V_{\text{п1}}$ от потенциала ионизации.

сивностями абсорбционных линий и интенсивностями эмиссионного компонента соответствуют разные значения лучевых скоростей „срезов“ абсорбционных линий.

Построим зависимость V_{n1} от потенциала ионизации соответствующего иона (рис. 3). Видно, что наименьшие значения скоростей „срезов“ абсорбционных линий единичной интенсивности V_{n1} в 6—7 раз меньше наибольших скоростей V_{n1} того же иона, чего не могло быть, если бы вещество в оболочке Р Лебеда было расслоено в соответствии с выводом Ц. С. Билса [2].

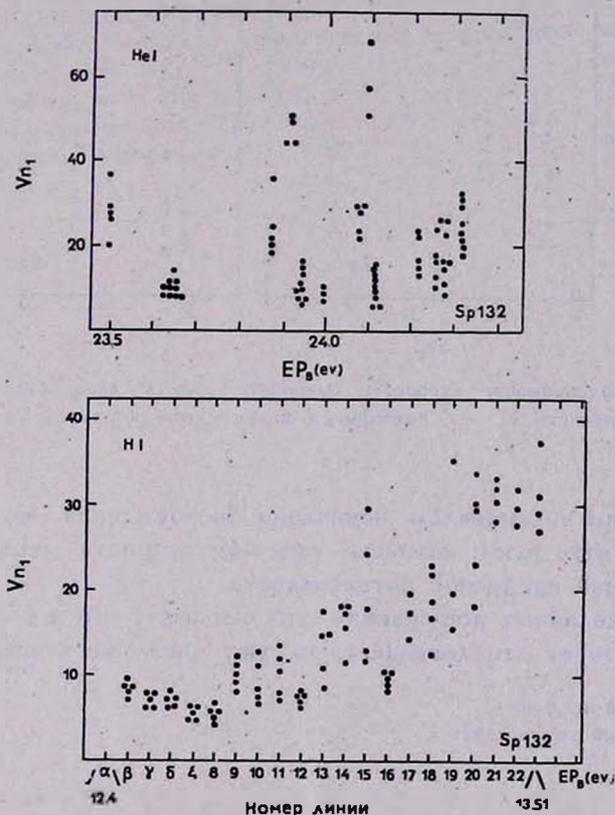


Рис. 4. Зависимость скоростей смещения „срезов“ абсорбционных линий единичной интенсивности V_{n1} от потенциала возбуждения верхнего уровня линии EP_n для H_1 и He_1 .

Повтому можно считать, что стратификация (расслоение) вещества при сделанных допущениях в оболочке Р Лебеда отсутствует.

График рис. 3 не показывает обратной зависимости V_{n1} от потенциала ионизации, найденной О. Струве для лучевых скоростей

вершин абсорбционных линий. Лучевые скорости „срезов“ абсорбционных линий единичной интенсивности обнаруживают, в среднем, прямую зависимость от потенциала ионизации соответствующего иона.

Зависимости лучевых скоростей „срезов“ абсорбционных линий единичной интенсивности V_{n1} от потенциалов возбуждения верхнего уровня линии EP_n , построенные для отдельных ионов (рис. 4, 5), имеют тот же характер, что и зависимости $V_{n1} - IP$, изображенные на рис. 3, а именно:

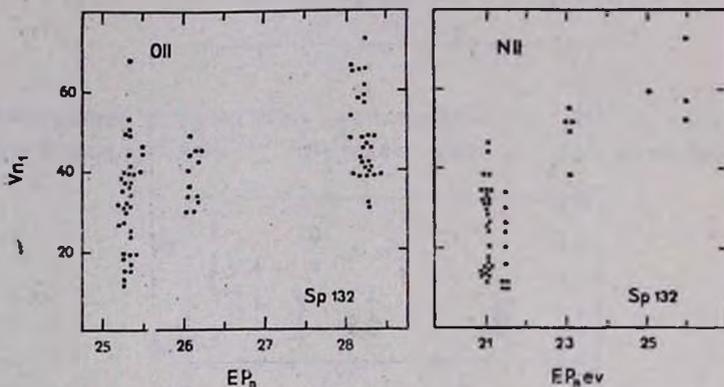


Рис. 5. Зависимость скоростей смещения „срезов“ абсорбционных линий единичной интенсивности V_{n1} от потенциала возбуждения верхнего уровня линии EP_n для O II и N II.

Большим потенциалам ионизации (возбуждения верхнего уровня линии) соответствуют большие лучевые скорости „срезов“ абсорбционных линий единичной интенсивности.

При сделанных допущениях это означает, что в оболочке Р Лебеда существует замедляющееся наружу движение вещества.

Ростовский-на-Дону
государственный университет

ON THE MOVEMENT OF MATTER IN THE ENVELOPE OF P CYGNI

E. R. ASTAFEV

The velocity of displacement of external sections of absorption lines of R. Cygni with five spectrograms of high dispersion have been

measured. The velocities normalized according to the intensity of lines show direct dependence upon the potential of ionization. Thus, the stratification of matter in the envelope of P Cygni is absent. In the envelope of P Cygni there exists a decreasing movement of matter.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. O. Struve, Ap. J., 81, 66, 1935.
2. C. S. Veals, Pub. Dom. Obs. Victoria, 9, 1, 1951.
3. Е. Р. Астафьев, О. П. Голландский, И. М. Копылов, Известия Кр.АО, 40 (в печати).
4. Т. Аллер, Астрофизика, 1, 174, ИЛ, М., 1957.
5. И. М. Копылов, Известия Кр.АО, 20, 156, 1958.
6. Е. Р. Астафьев, Материалы второй научной конференции молодых ученых Ростовской области, Изд. РГУ, 1968.
7. J. A. Rottenberg, M.N., 112, 125, 1952.
8. С. В. Рублев, Диссертация, РГУ, 1965.
9. Е. Р. Астафьев, Астрофизика, 4, 3, 1968.

