н. л. ИВАНОВА, М. Б. БАБАЕВ, А. А. ГУСЕЙНЗАДЕ, Е. Б. ЗВЕРЕВА СПЕКТР Р ЛЕБЕДЯ

Настоящая работа посвящена исследованию спектров уникального сверхгиганта Р Лебедя.

Большинство звезд группы Р Лебедя классифицировано как поздние В или ранние А, в то время как спектральный тип самой Р Лебедя относится к ВІр (или ВІqk) с некоторыми признаками более поздних типов [1]. Кроме того, по целому ряду свойств Р Лебедя отличается от других сверхгигантов класса ВІ: светимость этой звезды выше [2,3]. темп потери массы более быстрый [3], а процесс истечения материи из Р Лебедя совершенно не похож на истечение из других звезд ранних спектральных классов [4].

Несмотря на множество исследований, проблема Р Лебедя далека от разрешения и поэтому новые результаты по-прежнему представляют интерес.

В настоящей статье приведены результаты исследования распределения энергии в непрерывном спектре, спектрофотометрии линий (эквивалентные ширины, профили), измерений длин волн и лучевых скоростей Р Лебедя.

1. Распределение энергии в непрерывном спектре

Исследование непрерывного спектра произведено по 25 спектрам, полученным на телескопах 10" АСИ-5 Бюраканской обсерватории и АСТ—452 с 35° объективной призмой Шемахинской обсерватории. Наблюдения относятся к 1964, 1965, 1969 и 1976 гг. Изучалась спектральная область 3100—6500 А с дисперсиями 135 А/мм и 97 А/мм у Р_в.

Измерения спектрограмм выполнены на микрофотометре Цейсса и трехканальном микрофотометре с увеличениями в 10 и 50 раз.

В качестве фотоматериала использованы пластинки ZU-2, WP-1 и Kodak OaO и OaF.

Для получения относительного распределения энергии в качестве звезд сравнения использовались звезды типа АО & и b^a Лебедя.

Для исправления за межзвездное поглощение использовались значения A_λ, полученные в результате специального исследования звезд области 2×2° вокруг Р Лебедя с модулями расстояния, предположительно близкими к модулю Р Лебедя [5].

Абсолютное распределение энергии в непрерывном спектре Р Лебедя мы получили, используя среднее распределение энергии в абсолютных единицах для звезд типа АО из работы [6].

На рис. 1 приведено сглаженное для области бальмеровского окачка абсолютное распределение энергии в Р Лебедя. Для сравнения на этом рисунке приведено распределение энергии в звездах × Ориона, спектральный класс ВО51 [6] и ү Кассиопеи [7]. Интенсивность в $\lambda = 4480$ А принята за единицу.

Во всей исследуемой спектральной области температура Р Лебедя ниже температуры × Ориона. В области 4500—6500 А распределение энергии в Р Лебедя сходно с распределением в звезде ВО у Кассиопеи,



обнаруживающей, как известно [7], по сравнению с другими ранними В-звездами заметное покраснение.

Рис. 1. Абсолютное распределение энергии в непрерывном спектре Р Лебедя

2. Спектрофотометрия линий

Для исследования линейчатого спектра использовались пять спектрограмм, полученных в 1971—1972 гг. в фокусе куде двухметрового телескопа Шемахинской обсерватории с дисперсией 4 А/мм. Даты наблюдений и данные об использованном фотоматериале приведены в табл. 1.

Таблина 1

| Номер пластинки | Дата | Фотомате- рнал | | |
|--------------------|----------------|-------------------|--|--|
| 1 | 15. VII. 1971 | Kodak OaO | | |
| 2 | 16. VII. 1971 | A500 | | |
| 3 | 24. VII. 1971 | Λ500 | | |
| 4 | 9. VIII. 1971 | A-500 | | |
| 5 | 10. VIII. 1972 | A-500 | | |

Записи спектров сделаны на фотоэлектрическом микрофотометре «Лирифо», шкала регистрограмм—0.1 А/мм.

На спектрограммах присутствуют линии элементов: H, Hel, CII, NII, NIII, OI, OII, MgII, SiII, SiIII, SiIV, CaII, FellI и другие более слабые линии. Все линии—сложной структуры. Линии водорода состоят из трех или четырех компонент: почти несмещенных эмиссионных линий и нескольких смещенных в коротковолновую часть линий поглощения. Линии водорода прослеживаются в эмиссии до H₁₉—H₂₄, а в поглощении—до H₂₃—H₂₆.

При определениях эквивалентных ширин возникает неточность вследствие взаимных искажений эмиссий и поглощений. Для введения

соответствующих поправок строились вероятные контуры эмиссий в предположении их симметричности (дополнения к эмиссии обозначены пунктиром на рис. 2). Этот метод был применен ранее в работах [8—10].

В табл. 2 и 3 приведены исправленные значения эквивалентных ширин водорода и гелия (W' — относится к абсорбции, W' — к эмиссии).

Эквивалентные ширины всех линий меняются со временем в пределах, не превышающих ошибки измерений. На рис. 2 иллюстрированы изменения со временем линий Нт и 4026 HeI. По-видимому, в эпохи 1,2 и 5 усилились как эмиссия, так и поглощение, а в эпоху 3 произошло ослабление линий: уменьшилась эмиссия в водородных линиях, линиях гелия и в линиях 3995 NII, 3806 SiIII, 4430 FeIII. Наблюдавшиеся в эпохи 1,2 и 5 линии 3727 OII, 3791 SiIII, 3867 HeI, 4114 OII, 4481 MgII совершенно исчезли.



Рис. 2. Профили H, и 1026 HeI, относящиеся к моментам наблюдений II и III

Линия 3934 Call, состоящая из межзвездной и звездной компонент (рис. 3), также показывает в момент наблюдений 5 небольшую эмиссию звездного происхождения. По эквивалентной ширине звездной компоненты кальция, равной в среднем 0.30 A, с помощью выведенного Билсом и Оуком [11] соотношения

6-804

г=34.8 K.

где г-расстояние в парсеках. К-эквивалентная ширина межзвездной линии кальция в км/с, получаем для расстояния Р Лебедя значение 0.9 кпс.

| | 5 | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|
| Линия | U ¹ * W _a W _e | $\frac{2}{W_a W'_e}$ | $\frac{3}{W'_a W'_e}$ | Wa We | Wa We |
| HITTING HEI | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | $\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$ | $\begin{array}{c} 0.03 - \\ 0.06 - \\ 0.11 \\ 0.09 \\ 0.15 \\ 0.14 \\ 0.17 \\ 0.51 \\ 0.25 \\ 0.33 \\ 0.15 \\ 0.42 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.15 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.15 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.33 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.51 \\ 0.45 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.45 \\ 0.28 \\ 0.52 \\ 0.83 \\ 0.52 $ | 0.54 0.38 0.63 0.40 0.58 0.33 0.59 0.50 0.66 0.50 1.10 1.00 1.43 1.82 1.55 2.31 | $\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ |

* Нумсрация 1, 2, 3, 4, 5 в табл. 2, а также и во всех последующих таблицах соответствует датам, приведенным в табл. 1.

Таблица З

| 1000 | | | 1 | | 2 | 7. | 3 | 1.24 | 4 | | 5 |
|-----------------------------------|-------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Переход | Лнния | w' | w'e | W'a | W'e | w'a | W'e | w'a | We | w'a | W'e |
| 2'S—n'P | 3965 | | _ | 0.65 | 0.48 | 0.48 | 0.40 | 0.80* | 0.50 | 0.50 | 1.39 |
| 2 ³ P—n ³ S | 4713 | 0.27 | 0.39 | 0.96 | 0.74 | 0.42 | 0.52 | 0.81 | 1.08 | 0.86* | 1 - 14 |
| | (UII, Fell) | 0 51 | 0.45 | 0 45+ | 0 10 | 0.00 | | 0.00 | 0.04 | 0.60 | 0.04 |
| | 4120 | 0.51 | 0.45 | 0.45 | 0.40 | 0.20 | | 0.20 | 0.04 | 0.09 | 0.84 |
| | 3867 | 0.15 | 0.13 | 0.30 | 0.09 | Сла | REOI | 0.12 | | 0.13- | |
| $2^{3}P - n^{3}D$ | 4471 | 1.46 | 2.16 | 2.41 | 1.76 | 1.19 | 1.03 | 1.62 | 3.84 | 1-42* | 2.33 |
| 200 | 4026 | 1.80 | 2.24 | 1.15 | 1.04 | 0.66 | 0.56 | 1.31* | 1.31 | 1.45 | 1.87 |
| | 3819 | 0.74 | 0.53 | 1.05* | 0.72 | 0.68 | 0.63 | 0.88* | 0.66 | 0.93* | 0.59 |
| | 3554 | 0.22 | 0.13 | 0.07 | _ | | | | | | |
| | 3513 | 0.07 | _ | | 1000 | | | | 1.00 | | |
| 2'P | 4921 | | | 0.72 | 0.71 | 0 92 | 0 78 | 0 75 | 0 66 | 1 00 | 0.75 |
| | 4387 | 0.74 | 0.70 | 0 80 | 0 47 | 0.54 | 0.52 | 0.57* | 0 42 | 1 95 | 1 17 |
| 2'P-n'D | 4143 | 0 51 | 0 40 | 0 35 | 0.09 | 0.20 | 0.30 | 0 30 | 0.12 | 0.52 | 0.26 |
| | 4000 | 0.21 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.02 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| E 10 1 | (011) | 0.01 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.10 | | 0.20 | 0.10 | 0.21 | |
| | (011) | La | 112 | | 1920 | - | | | 1.110 | | |
| | 3920 | 0.12 | | Лин | НЯ | Лини | н пет | 0.40* | | 0.15* | |
| | | 1100 | | нсче | зла | | | | | | |

• Линии состоят из двух компонент,

Таблица 2



Рис. 3. Линия К Call в момент наблюдения 5

3. Лучевые скорости

Измерения длин воли производились по записям слектров, полученных на микрофотометре «Лирифо». Этот метод, уже проверенный раннее [12], обеспечивает достаточно хорошую точность (вероятная ошибка p=±2 км/с и позволяет также измерять смещения отдельных компонент линий.

Гелиоцентрические лучевые скорости компонент поглощения представлены в табл. 4 (водород), 5 (гелий) и 6 (остальные элементы).

Лучевые скорости эмиссионных компонент изменяются в небольших пределах около среднего значения —15 км/с, представляющего, по всей вероятности, скорость звезды.

| | Vr, KM/C | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|--|--|--|--|
| Линия | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | |
| $\begin{array}{c} H_{23} \\ H_{22} \\ H_{21} \\ H_{20} \\ H_{19} \\ H_{18} \\ H_{17} \\ H_{16} \\ H_{15} \\ H_{14} \\ H_{13} \\ A_{13} \\ H_{11} \\ H_{11} \\ H_{10} \\ H_{8} + HeI \\ H_{8} + HeI \\ H_{6} + HCaII \\ H_{8} \\ H_{7} \\ H_{8} \\ H_{7} \\ H_{8} \end{array}$ | $\begin{array}{r}142 \\ -112 \\ -128 \\ -130 \\ -131 \\ -130 \\ -141 \\ -139 \\ -135 \\ -131 \\ -134 \\ -132 \\ -118 \\ -133 \\ -117 \\ -133 \\ -117 \\ -133 \\ -188 - 219 \\ -123 - 150 - 148 \\ -173 - 230 \\ -146 - 179 - 216 \\ -151 - 221 \end{array}$ | $\begin{array}{r} -154\\ -159\\ -153\\ -161\\ -138\\ -148\\ -166\\ -156\\ -163\\ -161-178\\ -160\\ -159\\ -159\\ -150\\ -159\\ -150\\ -163-219\\ 138-168\\ -165-216-176\\ -176-224\\ -160-230\\ \end{array}$ | $\begin{array}{r} -157 \\138 \\ -141 \end{array}$ $\begin{array}{r} -165 \\ -144 \\143 \\ -143 \\ -158 \\ -158 \\ -174 \\ -133 \\ -178 \\199 \\178 \\198 \\191 \end{array}$ | 165 101173 108172 107186 108172 107172 102 144166 167 174196 174206 | $\begin{array}{c} -128 & -164 \\ -96 & -154 \\ -123 & -164 \\ -112 & -163 \\ -117 & -164 \\ -109 & -156 \\ -118 & -164 \\ -120 & -159 \\ -121 & -162 \\ -137 & -156 \\ -136 & -159 \\ -125 & -160 \\ -164 \\ -165 \\ -138 & -167 \\ -171 \\ -207 \end{array}$ | | | | |

Таблица 4

Таблица 5

| Vr, КМ/С | | | | | | | |
|--|--|--|---|---|--|---|--|
| Линия | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 3867 3820 3927 3965 4009 4026 4121 4143 4388 4472 4713 4922 | 109 111 93 124 105 106 108 128 116 | -127—160 —152 —156 —155 —168 | $\begin{array}{r} -133 \\ -151 \\ -89 \\ -136 \\ -95 \\ -140 \\ -95 \\ -140 \\ -95 \\ -146 \\ -95 \\ -136 \\ -97 \\ -173 \\ -128 \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} -& 99 & -148 \\ & -127 \\ -115 & -206 \\ -150 & -151 \\ -109 & -161 \\ -142 \\ -151 \end{array}$ | $\begin{array}{c} -103\\ -111\\ -114\\ -13\\ -106\\ -107\\ -108\\ -169\\ -89\\ -89\\ -127\\ -97\\ -167\\ -140\\ \end{array}$ | $ \begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$ | |

Таблица б

| - | - | | Vr. Kk | r/c | | | | |
|-------|--|--|--|---------------------------------------|--|---|--|--|
| Линия | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| NII | 3956 3995 4447 4601 4607 4614 4621 4630 4643 | 105 104 88 94 103 78 87 115 | $ \begin{array}{c} -133 \\ -141 \\ -92 \\ -114 \\ -105 \\ -109 \\ -13 \\ -96 \\ -113 \end{array} $ | 90 119 109 145 130 107 | $ \begin{array}{c} - & 90 \\ - & 88 \\ - & 83 \\ - & 101 \\ - & 90 \\ - & 99, - & 128 \\ - & 92, - & -& 110 \\ - & 102 \\ - & 102 \\ - & 86 \\ \end{array} $ | 101 108 102 104 103 108 117 109 129 | | |
| OII | 3833 4072 4349 4351 4367 4396 4415 4649 4662 | | 70 77 74 50 166 68 | | 60 69 58 69 158 72 61 | 77 72 148 122 92 86 | | |
| MgII | 4481 | —124 | - 95 | 1. J | -101 | -108 | | |
| SII11 | 3806 4254 4553 4568 4575 | 143 67 86 77 84 | 179 89 86 88 96 | 190 90 110 98 | 76 83 100 79 74 | 78 103 91 81 | | |
| SilV | 4089 4 116 | 40 52 | 79 53 | | - 56 - 42 | 68 75 | | |
| Felli | 3600 3603 4420 4430 | 106 91 106 112 | -143 -139 | —172 | —106,—161 —158 | -129 | | |
| Call | 3934 | -10, -138 | -16, -159 | -11, -120 | - 11,173 | -14, -144 | | |

Трем компонентам поглощения в среднем можно приписать, с вефоятной ошибкой ±5 км/с, скорости —105, —150 и —210 км/с.

По линиям Hel обнаруживаются две компоненты с соответствующими им окоростями —100 и —150 км/с.

Полученные скорости должны несколько отличаться от истинных в связи с искажающим влиянием эмиссии. Соответствующие поправки, из-за сложности структуры компонент поглощения, особенно в случае водорода и гелия, нам получить не удалось.

При построении зависимости лучевых скоростей абсорбционных линии от потенциалов ионизации мы для исключения эффекта «заполнения» абсорбции эмиссией выбрали из табл. 6 линии со слабой эмиссией или без эмиссии. Относительно линий водорода и гелия предполагаем, что в связи с их большими скоростями соответствующие поправки не внесли бы значительного изменения в соотношение лучевая скоростьшотенциал ионизации.



Рис. 4. Зависимость лучевых скоростей линий поглощения от потенциалов иопизации. Для Н и Неl взяты значения Vr наименее искаженных эмиссией самых коротковолновых компонент поглощения. Число измеренных линий приводится в скобках.

На рис. 4 представлена вышеупомянутая зависимость, показывающая, что большим потенциалам ионизации соответствуют меньшие лучевые скорости абсорбционных линий.

4. Обсуждение результатов

Исследование высокодисперсионных спектрограмм Р Лебедя позволило выявить целый ряд деталей в профилях, в частности обнаружить многокомпонентность линий водорода и гелия, двойственность других линий, выделить межзвездную и звездную компоненты CallK.

Применение метода измерения лучевых скоростей непосредственно по записям спектров сделало возможным измерения смещений отдельных деталей линий.

Анализ значений эквивалентных ширин, полученных в работе, показал временные изменения этих величин: так 16 июня 1971 г. и 10 августа 1972 г. эмиссия и поглощение были более сильными, чем в другис даты наблюдений. Возможно причиной этого служили небольшие изменения физических условий в оболочке звезды, так как это не со провождалось заметным изменением лучевых скоростей.

Полученная в работе зависимость лучевых скоростей лиций погло щения от потенциалов ионизации подтверждает предположение [1] стратификации в оболочке Р Лебедя: линии с большими потенциалами ионизации образуются глубже, чем линии с малыми потенциалами, истекающая с поверхности материя движется с ускорением паружу.

Следует заметить, что дублет Si IV 4068 и 4116. образующийся близко к звездной фотосфере, показывает скорость до —80 км/с, что подтверждает высказанное в работе [4] предположение о существовании «протяженной фотосферы» и наличии значительного ускорения материи ниже слоя с оптической глубиной с=1.

Сделанная в работе попытка измерить расстояние до Р Лебедя по эквивалентной ширине линии CallK не претендует на большую точность. Тем не менее, полученное нами значение г, равное 0.9 кпс, не пыходит за пределы 0.6—1.8 кпс, принятых для Р Лебедя в настоящее время.

Распределение энергии в испрерывном спектре Р Лебедя, исправленное по мере возможности за межзвездное поглощение, свидетельствуст о болес низкой температуре у Р Лебедя, чем у других звезд спектрального класса ВІ, что лишний раз подтверждает сделанные ранес высказывания [1, 13] о существовании у Р Лебедя протяженной атмосферы.

Ն. Լ. ԻՎԱՆՈՎԱ, Մ. Բ. ԲԱԲԱԵՎ, Ա. Հ. ՀՈՒՍԵՑՆԶԱԳԵ, Ե. Բ. ԶՎԵՐԵՎԱ

P ԿԱՐԱՊԻ ԱՍՏՂԻ ՍՊԵԿՏՐԸ

Ամփոփում

Բերված են P Կարապի աստղի սպեկտրում էներգիայի բաշխման ուսումնասիրության, դծերի սպեկտրալուսաչափության (համարժեք լայնություններ, ուրվագծեր) և տեսագծային արագությունների չափման արդյունըները։

N. L. IVANOVA, M. B. BABAEV, A. A. GUSEINSADE. E. B. ZVEREVA

THE SPECTRUM OF THE P Cyg

Summary

The results of investigation of energy distribution in the continuum, the measurements of radial velocities and line profiles in the spectrum of P Cyg are given.

ЛИТЕРАТУРА

O. Strave, Ap. J. 81, 66, 1935.
 И. М. Копылов, Изв. КрАО 20, 156, 1958.
 J. B. Hulchings, Ap. J. 203, 438, 1976.

спектр р лебедя

- М. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Т. П. Сноу, Астрофизика 14, 425, 1978.
- 5. Л. Лууд, Публ. Тартусской астрофиз. обс. 35, № 2, 189, 1966.
- 36. В. М. Терещенко, А. В. Харитонов, Зональные спектрофотометрические стандарты, Изд-во «Наука» КазССР, 1972.
- V. N. L. Ivanova, J. D. Kupo and A. Ch. Mamatkazina, Non-Periodic Phenomena in variable stars, JAU Colloquium, Budapest, 1968.
- 18. R. A. Chobros, Z. Ap. 56, 113, 1962.
- 9. De Groot M., Bull. of the Astr. Inst. of the Netherlands 20, 225, 1969.
- 10. Л. Лууд, О. Голландский, Т. Ярыгини, Публ. Тартусской истрофиз. обс. 43, 250, 1975.
- 11. C. S. Beals, J. B. Oke, MN 113, 530, 1953.
- 12. Н. Л. Иванова, А. Н. Хотнянский, Сообщ. Бюраканской обс., 50, 33, 1978.
- 13. D. Chalonge, L. Divan, Ann. d. Astr. 15, 201, 1952.