

УДК 524.3—852

О ПАРАМЕТРАХ АТМОСФЕР
ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД α And И α^2 CVn

В. В. ЛЕУШИН, Л. И. СНЕЖКО, В. В. СОКОЛОВ

Поступила 20 мая 1983

Принята к печати 3 февраля 1984

Выполнено исследование водородных линий $P_{13}-P_{17}$ и линии H_7 в спектрах Ар-звезд α And и α^2 CVn. Для обеих звезд по водородным линиям найдено значение $\lg g \approx 3.5$. Показано, что для обеих звезд найденные методом инфракрасных потоков значения T_{eff} близки к действительным.

1. *Введение.* Применение к Ар-звездам стандартных методов определения параметров атмосфер встречает определенные трудности. Избыточное содержание легкоионизуемых элементов и создаваемое ими дополнительное поглощение в ультрафиолете приводят к изменению структуры атмосферы и тем самым к изменению распределения энергии в спектре [1, 2]. Дополнительное поглощение в видимой области спектра искажает характеристики континуума, причем все указанные эффекты переменны во времени из-за неоднородности физических условий на поверхности вращающихся Ар-звезд. Хотя в среднем соответствующие характеристики спектров Ар-звезд мало отличаются от характеристик для нормальных, для отдельных звезд разные методы дают очень различающиеся результаты. В качестве примера можно привести сводку определений T_{eff} за последние 15 лет для хорошо изученной кремиевой Ар-звезды α^2 CVn (табл. 5 работы [3]). Для этой звезды находимые по видимой области спектра значения T_{eff} лежат в пределах от $10\,000^\circ$ до $14\,000^\circ$. Соответственно находимые по профилю линии H_7 значения $\lg g$ лежат в пределах от $\lg g = 4$ при $T_{\text{eff}} = 14\,000^\circ$ до $\lg g = 3$ при $T_{\text{eff}} = 9500^\circ$ [4]. Очевидно, что такой большой разброс определений основных параметров атмосфер затрудняет количественную оценку пекулярностей спектра и тем самым затрудняется задача понимания природы этих пекулярностей.

Принципиальное решение проблемы определения основных параметров атмосфер для Ар-звезд дает метод инфракрасных потоков, разработанный Блэквеллом и Шэллисом для определения эффективной температуры

звезд [5, 6]. В этом методе T_{eff} находится из измеренных на поверхности Земли болометрического потока и монохроматических потоков в инфракрасной области спектра. Расчеты моделей атмосфер показывают, что потоки в инфракрасной области спектра слабо зависят от химического состава и ускорения силы тяжести в атмосфере звезды. Тем самым метод инфракрасных потоков дает прямую оценку T_{eff} , в отличие от традиционных косвенных методов слабо зависящую от перераспределения энергии между ультрафиолетом и видимой областью спектра, возникающего при изменении химического состава атмосферы [3].

Привлекая определения T_{eff} методом инфракрасных потоков [3], мы поставили задачу определения по водородным линиям параметров атмосфер для $\alpha^2\text{CVn}$ (тип пекулярности: Si—Eu) и αAnd (тип пекулярности Hg—Mn). Стандартная процедура определения $\lg g$ по профилю линии H_γ , формирующейся в широком диапазоне оптических глубин $10^{-3} \lesssim \tau \lesssim 1.2$, может встретить затруднение из-за изменений структуры атмосферы пекулярностями химического состава. Поэтому мы дополнительно привлекли наблюдения линий серии Пашена, формирующихся в значительно более узком интервале оптических глубин $0.05 \lesssim \tau \lesssim 0.3$, то есть в тех же слоях атмосферы, где формируется металлический спектр в видимой области. Совместное изучение линий серий Бальмера и Пашена не только повышает достоверность определения основных параметров атмосферы, но и ввиду большого различия глубин их формирования открывает возможность обнаружения аномалий в структуре атмосферы.

2. *Наблюдательный материал и его обработка.* Спектрограммы $\alpha^2\text{CVn}$ и αAnd в фотографической области были получены на 122-см телескопе КрАО АН СССР с дисперсией 15 А/мм [7]. Для данной задачи спектрограммы были заново обработаны, особое внимание обращалось на проведение непрерывного спектра. Профили линии H_γ , полученные усреднением результатов обработки четырех спектрограмм, приведены на рис. 1, где горизонтальный штрих показывает разброс отдельных определений. Профиль H_γ для $\alpha^2\text{CVn}$ показывает разброс, значительно превышающий таковой для αAnd , в чем проявляется обнаруженная физическая переменность водородных линий у $\alpha^2\text{CVn}$ [8, 18]. Спектрограммы в ближней инфракрасной области были получены в июне и августе 1978 г. на ОЗСП БТА с дисперсией 28 А/мм. Применялась очувствленная эмульсия Kodak NI, спектральное разрешение составляет ~ 0.8 А. Вся фотометрическая обработка была выполнена на микрофотометре прямых интенсивностей САО АН СССР. Спектры в области λ 8400—8800 А, полученные по разным спектрограммам, для обеих звезд имеют оди-

наковый разброс, так что физическая переменность пашеновских линий у $\alpha^2 CVn$ не обнаруживается. Спектры в области линий $P_{13}-P_{17}$, приведенные к непрерывному спектру, проведенному через вершины спектральных деталей, показаны на рис. 2. Эти данные получены

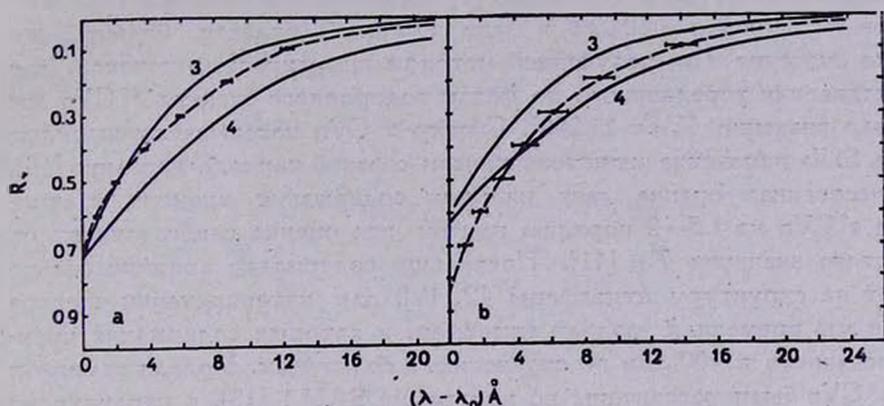


Рис. 1. Теоретические и наблюдаемые профили линии H_γ . Цифры показывают значение $\lg g$, $T_{\text{eff}} = 11\,200^\circ$, $a - \alpha \text{ And}$, $b - \alpha^2 CVn$.

усреднением результатов обработки пяти спектрограмм для $\alpha^2 CVn$ и соответственно четырех спектрограмм для $\alpha \text{ And}$. Компоненты инфракрасного триплета Ca II очень слабы и не искажают профилей пашеновских линий.

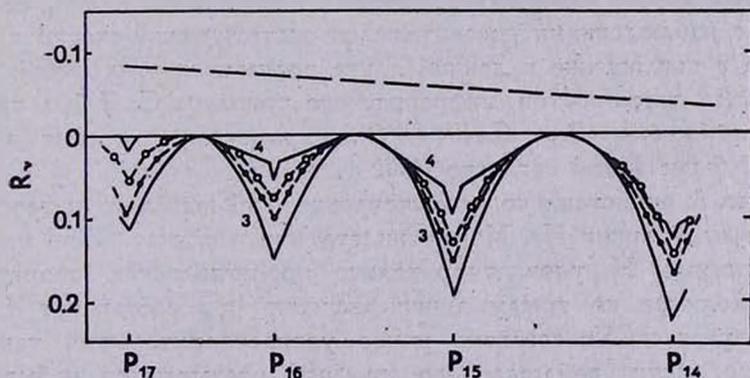


Рис. 2. Теоретический и наблюдаемый спектр в области линий $P_{14}-P_{17}$. Цифры показывают значение $\lg g$, $T_{\text{eff}} = 11\,200^\circ$. $\circ - \alpha \text{ And}$, $\bullet - \alpha^2 CVn$.

новских линий. В спектре $\alpha^2 CVn$ детали, которые можно отождествить с компонентами инфракрасного триплета Ca II , имеют эквивалентные ширины $W_\lambda \leq 0.08 \text{ \AA}$, для $\alpha \text{ And}$ они имеют значения $W_\lambda \leq 0.05 \text{ \AA}$, что много меньше эквивалентных шириин линий серии Пашена.

3. *Результаты.* Полученные методом инфракрасных потоков значения эффективной температуры составляют $T_{\text{eff}} = 10830^\circ$ для $\alpha^2\text{CVn}$ и $T_{\text{eff}} = 11300^\circ$ для α And [3]. Методом моделей атмосфер с учетом аномального химического состава и дополнительного поглощения в ультрафиолете для $\alpha^2\text{CVn}$ в работе [9] получено значение $T_{\text{eff}} = 11500^\circ$ в фазе $\varphi = 0$ и $T_{\text{eff}} = 12000^\circ$ в фазе $\varphi = 0.5$. Придавая больший вес оценке значения T_{eff} , полученной методом инфракрасных потоков, для представления усредненного по фазам водородного спектра $\alpha^2\text{CVn}$ мы приняли значение $T_{\text{eff}} = 11200^\circ$. Спектр $\alpha^2\text{CVn}$ показывает усиленные линии Si II; изменение их интенсивности с фазой периода невелико [16]. Количественная оценка дает избыток содержания кремния в атмосфере $\alpha^2\text{CVn}$ на 1.5—2 порядка, причем эта оценка слабо зависит от принятого значения T_{eff} [11]. Поскольку содержание кремния сильно влияет на структуру атмосферы [2, 12], для интерпретации спектра $\alpha^2\text{CVn}$ мы применили модели атмосфер, в которых содержание кремния повышено в 100 раз по сравнению с солнечным. Модели атмосфер для $\alpha^2\text{CVn}$ были рассчитаны по программе SAM 1 [13], с параметрами $T_{\text{eff}} = 11200^\circ$, $\lg g = 4$ и $\lg g = 3$. Для интерпретации спектра α And были применены бланкетированные модели Михаласа с параметрами $\theta_{\text{eff}} = 0.45$, $\lg g = 4$ и $\lg g = 3$ [14]. Детали примененной программы расчета линейчатого спектра изложены в [15]. Уширение линии H_γ считалось по данным [16], уширение линий серии Пашена считалось по теории Грима [17]. Поскольку в области наблюдаемых линий $P_{14}-P_{18}$ имеет место сильное перекрытие крыльев пашеповских линий, то для сравнения с наблюдениями рассчитывался синтетический спектр с учетом вклада в поглощение в данной длине волны всех этих линий. Для оценки вклада компонентов инфракрасного триплета Ca II был проведен расчет бленды ($P_{13} + \text{Ca II } \lambda.8662$), параметры уширения линии $\text{Ca II } \lambda.8662$ были взяты согласно [17].

На рис. 1 представлено сопоставление наблюдаемых и теоретических профилей линии H_γ . Можно видеть, что в случае α And наблюдаемый профиль H_γ удовлетворительно представляется теоретическими и найденное по крылу линии значение $\lg g$ составляет $\lg g \cong \cong 3.3$. В случае $\alpha^2\text{CVn}$ согласие менее удовлетворительное, так как центральные части наблюдаемого профиля оказываются избыточно глубокими. Улучшить согласие в центральных частях профиля изменением значения T_{eff} или переходом к нормальному химическому составу не удастся, поэтому избыточная глубина линии H_γ не может быть объяснена в рамках стандартной однородной модели атмосферы. Найденное по крыльям линии H_γ значение $\lg g$ составляет для $\alpha^2\text{CVn}$ $\lg g \cong 3.5$ и определено меньше 4. На рис. 2 показано сопоставление наблюдаемого водородного спектра с теоретическим в области линий

$P_{14}-P_{17}$. Штриховой линией показано положение истинного непрерывного спектра для модели с $\lg g = 3$, что иллюстрирует сильное влияние перекрытия крыльев линий на вид линейчатого спектра. Именно перекрытие крыльев приводит к ослаблению линий с возрастанием $\lg g$, тогда как неblendированные линии водорода при этом усиливаются. Находимое по линиям $P_{14}-P_{17}$ значение $\lg g$ для α And и α^2 CVn составляет $\lg g \cong 3.5$, при этом теоретические и наблюдаемые профили хорошо согласуются. На рис. 3 представлены наблюдаемый профиль P_{13} для α And и теоретический профиль бленды ($P_{13} + \text{Ca II } \lambda. 8662$) для модели с $\lg g = 3$. Теоретический профиль считался без учета

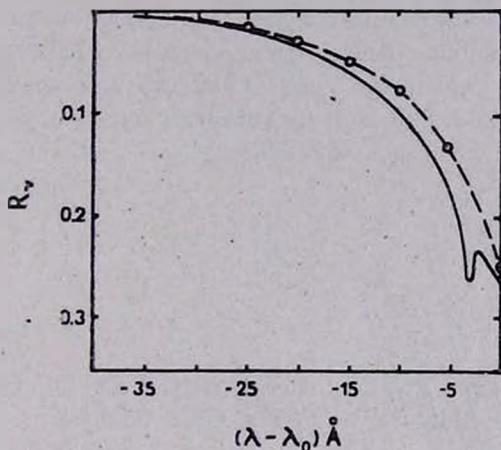


Рис. 3. Профиль линии P_{13} в спектре α And (o) и теоретический профиль бленды ($P_{13} + \text{Ca II } \lambda. 8662$).

перекрытия с соседними линиями водорода и уширен сверткой с инструментальным профилем для воспроизведения компонента $\text{Ca II } \lambda. 8662$ в масштабе рисунка. Можно видеть, что вклад компонента триплета $\text{Ca II } \lambda. 8662$ мал, эквивалентная ширина его составляет $W_\lambda = 0.05 \text{ \AA}$, так что профиль бленды определяется только водородной линией. При эффективной температуре $T_{\text{eff}} = 10\,000^\circ$ эквивалентная ширина компонента $\text{Ca II } \lambda. 8662$ имеет значение $W_\lambda = 0.15 \text{ \AA}$, что в три раза больше предела обнаружения наших спектрограмм — $W_\lambda \sim 0.05 \text{ \AA}$. С другой стороны, при $T_{\text{eff}} > 11\,500^\circ$ W_λ компонента $\text{Ca II } \lambda. 8662$ становится меньше предела обнаружения. Таким образом, наличие компонентов триплета Ca II на пределе обнаружения с $W_\lambda \sim 0.05 \div 0.08 \text{ \AA}$ показывает, что определенные методом инфракрасных потоков значения T_{eff} для α And и α^2 CVn близки к действительным.

В целом проведенное исследование водородного спектра показывает, что атмосферы звезд α And и α^2 CVn имеют значения ускорения

силы тяжести $\lg g \cong 3.5$. В случае α And как спектр в области линий $P_{14}-P_{17}$, так и профиль линии H_{γ} удовлетворительно представляются теоретическими для модели атмосферы с нормальным химическим составом и $T_{\text{eff}} = 11200^{\circ}$ и $\lg g \cong 3.5$. В случае α^2 CVn спектр в области линий $P_{14}-P_{17}$ и крылья линии H_{γ} также удовлетворительно представляются теоретическими для модели с 100-кратным избытком кремния и с теми же значениями T_{eff} и $\lg g$. Однако центральные части профиля H_{γ} у α^2 CVn не могут быть согласованы с теоретическими в рамках стандартной однородной модели атмосферы. Изучение водородного спектра подтверждает значения T_{eff} , найденные для α And и α^2 CVn методом инфракрасных потоков [3]. Дополнительным подтверждением этого является наличие в спектрах компонентов триплета Ca II на пределе обнаружения наших спектрограмм. Полученное здесь пониженное значение ускорения силы тяжести для двух звезд различных типов пекулярности может представить интерес для задач интерпретации аномалий спектров Ap-звезд.

Специальная астрофизическая
 обсерватория АН СССР
 Ростовский государственный
 университет

ON THE PARAMETERS OF ATMOSPHERES OF CHEMICALLY PECULIAR α And α^2 CVn STARS

V. V. LEUSHIN, L. I. SNEZHKO, V. V. SOKOLOV

The hydrogen lines $P_{13}-P_{17}$ and H_{γ} in the spectra of Ap-stars α And and α^2 CVn have been investigated. For both stars a value of $\log g \cong 3.5$ has been found by hydrogen lines. It has been shown that the values of T_{eff} obtained for both of them by an infrared flux method are consistent with the actual value.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Stepien, H. Muhsam, *Astron. Astrophys.*, 92, 171, 1980.
2. В. В. Леушин, В. В. Соколов, Г. П. Топильская, *Астрофизика*, 18, 423, 1982.
3. M. J. Shallis, D. E. Blackwell, *Astron. Astrophys.*, 79, 48, 1979.
4. И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская, Л. И. Снежко, В. В. Соколов, Н. М. Чунакова, *Астрон. ж.*, 55, 1214, 1978.
5. D. E. Blackwell, M. J. Shallis, *M. N. RAS*, 180, 177, 1977.
6. D. E. Blackwell, M. J. Shallis, M. J. Selby, *M. N. RAS*, 188, 847, 1979.
7. В. В. Леушин, *Изв. Крымской обс.*, 43, 113, 1971.
8. К. И. Козлова, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 2, 18, 1970.

9. *H. Muthsam, K. Steplen*, *Astron. Astrophys.*, 86, 240, 1980.
10. *И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская*, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 5, 47, 1973.
11. *J. G. Cohen*, *Ap. J.*, 159, 473, 1970.
12. *S. E. Strom, K. M. Strom*, *Ap. J.*, 155, 17, 1969.
13. *S. Wright, J. Argyros*, *Comm. Univ. London Obs.*, №76, 1975.
14. *D. Mihalas*, *Ap. J., Suppl. ser.*, 13, 1, 1966.
15. *Л. И. Снежко*, *Сообщ. САО*, № 3, 3, 1971.
16. *C. R. Vidal, J. Cooper, E. W. Smith*, *Ap. J., Suppl. ser.*, 25, 37, 1973.
17. *Г. Грим*, *Спектроскопия плазмы*, Атомиздат, М., 1969.
18. *Р. Н. Кумайгородская*, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 2, 26, 1970.