

## СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНО-ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ 21 Per. III

Ю. В. Глаголевский, К. И. Козлова

Определены координаты и радиусы областей концентрации химических элементов Eu, Fe, Cr, Ti, Mn, Sr для звезды 21 Per и приведена карта их распределения. Определен угол наклона звезды  $i=36^\circ6'$ . Получены данные, свидетельствующие о том, что между областями концентрации элемент также присутствует. Обсуждены основные результаты и проблемы исследования 21 Per.

Coordinates and radii of the regions of concentration of chemical elements Eu, Fe, Cr, Ti, Mn, Sr for the star 21 Per are determined and a map of their distribution is presented. The star's angle of inclination is  $i=36^\circ6'$ . The data is obtained that evidence for the fact that an element is also present between the regions of concentration. Principal results and problems of investigation of 21 Per are discussed.

Данная работа является продолжением спектрофотометрического исследования 21 Per. Первые две части работы опубликованы в [1, 2], в которых, в частности, было показано, что по характеру переменности интенсивностей спектральных линий и лучевых скростей у 21 Per химические элементы можно разбить на две группы. Там же приведены данные по определению координат и радиусов областей концентрации Sr, Mn, Ti и Cr. Для остальных элементов эти данные не приводятся из-за их ненадежности вследствие малого числа или даже полного отсутствия неблендированных линий. Линии Si II  $\lambda$  4128.05 и 4130.88, например, слишком широки, для того чтобы можно было уверенно выделить компоненты. Слабые линии искажены шумами фотоэмульсии.

ТАБЛИЦА 1

Координаты, радиусы областей концентрации элементов и углы наклона 21 Per

Элемент	I			II			III			IV			$i$
	$\varphi$	$\delta$	$R$	$\varphi$	$\delta$	$R$	$\varphi$	$\delta$	$R$	$\varphi$	$\delta$	$R$	
Eu	-20°	0°75'		-10°18'	0°75'		—	—	—	—	—	—	50°
Mn	+25	0 65		+45 180	64		—	—	—	—	—	—	40
Ti	+25	0 66		+36 180	60		—	—	—	—	—	—	40
Cr	0	353 75		+30 194	40		—	—	—	—	—	—	20
Fe	-20	357 55		+10 101	20		-20°18'	0°50'		-10°27'	0°30'		40
Sr	-20	353 17		0 82	15		-20 180	15		-10 252	5		30

В табл. 1 приведены широта  $\varphi$ , долгота  $\delta$  и радиус  $R$  для всех изученных элементов, а также угол наклона  $i$  звезды к лучу зрения, при котором теоретические и наблюдаемые зависимости изменения лучевой скорости от фазы периода ( $v_r, P$ ) и эквивалентной ширины от фазы ( $W_\lambda, P$ ) получаются наиболее близкими. Методика определения названных параметров описана в [2, 3]. На рис. 1 на координатной сетке нанесены области, за-

нимаемые изученными элементами. Заштрихованная область вследствие наклона звезды к лучу зрения не видна. На рис. 1 обращает на себя внимание разный характер распределения элементов: Fe и Sr концентрируются на поверхности звезды в четырех областях, а остальные — в двух. Этим и определяется деление элементов на две группы, обсуждаемое в [1]. Рассмотрим свойства разных элементов отдельно.

**Редкоземельные элементы.** Эти элементы дают наибольшее значение  $i$ . Кроме европия измерены линии NdII  $\lambda 4059.96$ ,  $4061.09$ , GdII  $\lambda 4251.73$ ,  $4483.33$ , SmII  $\lambda 4433.99$ ,  $4434.32$ , а также La, Ce, Pr, Dy, однако из-за слабости линий и влияния бленд искомые параметры получить не удалось. Из рассмотрения характера изменений интенсивностей линий всех этих элементов можно сделать вывод, что они концентрируются в тех же областях, где и европий.

**Титан и марганец.** Эти элементы имеют одинаковые зависимости  $(v_r, P)$  и близкие между собой зависимости  $(W_\lambda, P)$ . Кривые  $(v_r, P)$

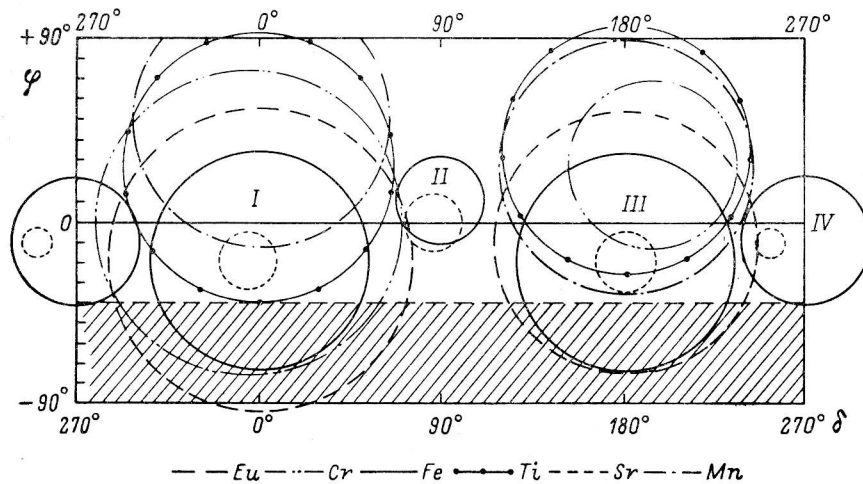


Рис. 1. Распределение областей концентрации элементов по поверхности 21 Per.

имеют две ветви, как и редкоземельные элементы, но с меньшей амплитудой. На рис. 1 видно, что оба эти элемента занимают широкие области, как и редкие земли, но из-за меньшей амплитуды изменения лучевых скоростей пятна оказываются расположенными ближе к полюсу вращения звезды. Необъяснимым фактом является перекрытие областей вблизи полюса. Искомые параметры были получены по линиям TiII  $\lambda 4294.10$ ,  $4312.86$ ,  $4386.86$ ,  $4395.03$ ,  $4395.85$  и MnII  $\lambda 4083.67$ ,  $4292.25$ ,  $4174.31$ ,  $4326.76$ .

**Железо, стронций, кремний.** Эта группа элементов концентрируется в 4 участках поверхности звезды. Компоненты линий кремния выделить невозможно из-за большой интенсивности и перекрытия вследствие этого. Вывод о том, что кремний концентрируется в 4 областях, был сделан по характерным искажениям контуров. К сожалению, для измерений доступна только одна линия стронция SrII  $\lambda 4305.45$ , поэтому полученные параметры мы считаем неточными и радиусы областей концентрации слишком малыми.

Из числа рассматриваемых здесь элементов достаточно надежны измерения только для Fe [2]. Несмотря на значительное количество линий железа в спектре, пригодных для измерений линий немного. Сильные линии не разделяются на компоненты, а слабые измеряются с большими погрешностями.

**Хром.** Престон [4] считает, что хром дает зависимости  $(v_r, P)$ , подобные предыдущей группе элементов, однако при самом внимательном изучении

мы нашли только две ветви изменения лучевых скоростей и интенсивностей линий. Этот элемент сконцентрирован в 2 основных областях, хотя по деформации контуров можно заподозрить более сложную структуру пятен.

Из табл. 1 и рис. 1 хорошо видно, что центры групп пятен всех элементов находятся на близких долготах, но по широте наблюдается значительный разброс. Долгота пятна уверенно определяется по кривой  $(v_r, P)$ , а широта — величина менее определенная, однако трудно сказать, значительная дисперсия широт получается в результате ошибок измерений или она действительно существует. Используемый метод определения широты основан на изучении формы кривых  $(v_r, P)$  и  $(W_\lambda, P)$ , которые получаются не очень точными из-за разброса точек, однако если линии не блендированы, трудно объяснить ошибки, превышающие  $10^\circ$ . На рис. 2 приведен пример определения широты и радиуса областей концентрации титана. Здесь кривая  $v_r$  показывает значения искомых величин, при которых теоретическая и наблюдаемая кривые  $(v_r, P)$  совпадают; кривая  $W_\lambda$  отражает такую же зависимость для  $(W_\lambda, P)$ . Точка пересечения дает общее решение.

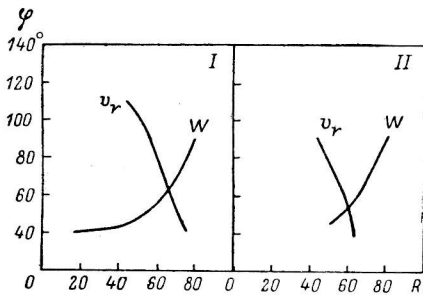


Рис. 2. Графики для определения широты и радиуса областей концентрации титана.

Оценка угла наклона 21 Per приведена в [2], где она сделана на основании ожидаемого радиуса и периода вращения звезды. Используемый здесь метод дает возможность уточнить угол наклона звезды. Искомые

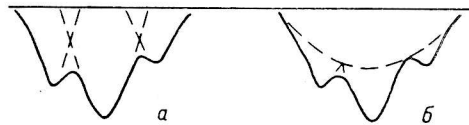


Рис. 3. Способы представления компонент сложных профилей линий Ар-звезд.

параметры получались в предположении разных углов наклона звезды к лучу зрения, и выбиралось то значение  $i$ , при котором теоретические и наблюдаемые кривые  $(v_r, P)$  и  $(W_\lambda, P)$  совпадали наилучшим образом. Эта процедура слабо зависит от  $i$ , поэтому разброс значений его большой. В последней графе табл. 1. приведены найденные таким способом значения  $i$ , среднее арифметическое из которых равно  $i=36.6$ . Если исходить из ожидаемого радиуса  $R/R_\odot=2$  [2] и периода вращения звезды, то  $i=35^\circ$  в предположении эффективной температуры звезды  $T_e=11\ 700^\circ\text{K}$  (на основании распределения энергии в непрерывном спектре [5]) и  $i=44^\circ$  при  $T_e=10\ 250^\circ\text{K}$  (по кривой роста [5]). Видно, что значения  $i$ , полученные всеми способами, близки между собой.

Таблицы, рассчитанные методом, приведенным в [3], содержат коэффициенты  $K$ , показывающие долю видимого диска звезды, занимаемую элементом. Пользуясь коэффициентами  $K$ , можно на основании наблюдаемых значений  $W_\lambda$  получить те значения  $W'_\lambda$ , которые мы измерили, если бы смогли навести щель спектрографа только на область концентрации элемента. При этом предполагается, что данный элемент сконцентрирован только в пятне, а на остальной части поверхности звезды его нет. Наблюдатели обычно предполагают такую ситуацию, когда в сложном профиле линии на регистрограмме они восстанавливают компоненты способом, показанным схематически на рис. 3, а. Измерив эквивалентную ширину нескольких линий с помощью коэффициентов  $K$ , мы получили новые величины  $W'_\lambda$ , приведенные в табл. 2. Видно, что в ряде случаев они имеют очень большие значения, особенно у Fe. Значения  $W'_\lambda$  неправдоподобно велики для Sr, и мы их не приводим. Степень увеличения  $W'_\lambda$

ТАБЛИЦА 2

Эквивалентные ширины спектральных линий, мÅ

Элемент	$W_{\lambda}$				$W'_{\lambda}$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Eu 4129	68	65	—	—	122	102	—	—
Mn 4326	82	68	—	—	107	91	—	—
Ti 4312	72	60	—	—	89	81	—	—
Cr 4254	68	47	—	—	106	120	—	—
Fe 4351	130	58	100	87	460	650	450	680
4263	54	30	45	50	210	336	202	390
Fe* 4351	120	48	90	77	424	540	405	605
4263	44	20	35	40	170	224	158	314

ТАБЛИЦА 3

Степень концентрации элемента в пятне

Элемент	I	II	III	IV
Eu	10	—	—	—
Mn	3	—	—	—
Ti	3	—	—	—
Cr	10	—	—	—
Fe	220	1400	100	400
	160	1500	140	1000
Fe*	170	1250	63	315
	80	560	60	560

\* С учетом постоянной составляющей 10 мÅ.

в пятне можно существенно уменьшить, если предположить наличие элемента между областями концентрации. В [2] уже обсуждался вопрос о вероятности такой ситуации. Тщательное рассмотрение нашего наблюдательного материала и особенно зависимостей ( $W_{\lambda}$ ,  $P$ ) показывает, что введение «постоянной составляющей» на этих зависимостях улучшит их плавность. Для дальнейшего анализа в табл. 2 приведены значения  $W_{\lambda}$  с учетом постоянной составляющей, равной 10 мÅ. Используя эти данные, на основании кривой роста для 21 Per из [6] мы оценили, во сколько раз количество поглощающих атомов в пятне больше величины, получаемой непосредственно из наблюдаемых значений  $W_{\lambda}$ . Результаты приведены в табл. 3, из которой видно, что для больших пятен Eu, Mn, Ti и Cr увеличение содержания невелико, а для небольших по размеру пятен Fe степень концентрации слишком велика. Многие линии выходят в область кривых роста, где существенную роль играют механизмы затухания. При этом такие линии должны были бы иметь заметные крылья, что в действительности не наблюдается. Следовательно, столь значительная концентрация Fe невероятна и следует предположить существование элемента между пятнами. В последней строчке для Fe приведены данные для случая с «постоянной составляющей», равной 10 мÅ. Видно, что уже при небольшой «добавке» степень концентрации значительно уменьшилась. Предположение о существовании у 21 Per химических элементов между пятнами более физично, а об отсутствии их там можно определенно утверждать только в отношении редкоземельных элементов (как и у  $\alpha^2$  CVn [7]), компоненты линий которых полностью разделяются. У остальных элементов компоненты линий полностью не разделяются и, исходя из сказанного, правильное представлять компоненты так, как показано рис. 3, б. При этом возникает проблема, требующая еще разработки, как на контурах представлять «постоянную составляющую». Вероятно, эта проблема может быть достаточно полно решена только при использовании спектров с очень большой дисперсией.

Этой статьей мы заканчиваем цикл работ, посвященных спектрофотометрическим исследованиям 21 Per по спектрам, полученным на 2.6-м рефлекторе Крымской АО. В заключение сделаем несколько замечаний.

1. Наше исследование следует считать предварительным, так как спектр звезды чрезвычайно сложен и достаточно полно его можно изучить только по спектрограммам с большой дисперсией. К сожалению, удалось изучить распределение по поверхности звезды только у небольшого числа химических элементов. Для более полного исследования такого рода необходима разработка объективных критериев выделения компонент линий среди шумов фотоземлюльсии.

2. В результате наших исследований оказалось, что характер переменности интенсивностей и лучевых скоростей с фазой периода у 21 Per, рассмотренный в [4], зависит от размеров и координат областей концентрации элементов.

3. Переменность лучевых скоростей и интенсивностей линий в первом приближении хорошо представляются моделью наклонного ротора и областями концентрации химических элементов на поверхности звезды в виде круглых пятен.

4. На примере Fe получены данные, свидетельствующие, что между областями концентрации элемент также присутствует. Вследствие этого традиционный способ представления компонент линий следует пересмотреть.

#### Список литературы

1. Глаголевский Ю. В., Козлова К. И., Полосухина Н. С. Спектрофотометрическое исследование магнитно-переменной звезды 21 Per I. — *Астрофизика*, 1974, вып. 4, 10, с. 512.
2. Глаголевский Ю. В., Козлова К. И., Лебедев В. С., Полосухина Н. С. Спектрофотометрическое исследование магнитно-переменной звезды 21 Per II. — *Астрофизика*, 1976, вып. 4, 12, с. 631.
3. Лебедев В. С. Пятенный анализ жестко вращающихся Ар-звезд. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО АН СССР), 1976, 8, с. 20.
4. Preston G. W. The variability of 21 Persei. — *Astrophys. J.*, 1969, 158, p. 251.
5. Глаголевский Ю. В., Козлова К. И., Чупакова Н. М. Об эффективных температурах пекулярных и металлических звезд. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО АН СССР), 1973, 5, с. 52.
6. Глаголевский Ю. В. Анализ атмосфер магнитных звезд методом кривых роста. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО АН СССР), 1970, 2, с. 3.
7. Кумайгородская Р. Н., Копылов И. М. Спектрофотометрическое исследование магнитно-переменной звезды  $\alpha^2$  CVn по спектрограммам высокого разрешения. II. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО АН СССР), 1972, 4, с. 50.