

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 12

НОЯБРЬ, 1976

ВЫПУСК 4

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНО-ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ 21 PER. II ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ F_e ПО ПОВЕРХНОСТИ ЗВЕЗДЫ И ИЗМЕНЕНИЙ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ H_1 И H_2 В ТЕЧЕНИЕ ПЕРИОДА

Ю. В. ГЛАГОЛЕВСКИЙ, К. И. КОЗЛОВА, В. С. ЛЕБЕДЕВ, Н. С. ПОЛОСУХИНА

По спектрограммам с дисперсией 4 и 8 А/мм изучены профили линий FeII у 21 Per, состоящие из отдельных компонент. По компонентам линий FeII λ 4263.90 и λ 4351.76 А определены лучевые скорости (V_r) и эквивалентные ширины (W_r). На графике зависимости V_r от фазы P получаются четыре ветви и, соответственно, четыре кривых (W_r , P). Анализ полученных данных показывает, что на поверхности 21 Per железо сконцентрировано в четырех участках, распределенных вдоль экватора вращения. Определены координаты центров и размеры пятен, а также относительные интенсивности линии FeII λ 4351.76 А в каждом из пятен. Изучена переменность различных параметров водородных линий H_1 и H_2 (W_r , $\Delta\lambda_r$, R_r) в течение периода (2¹88). Изменения показали двойную волну, подобную кривой блеска. Параметры W_r , W_u и $\Delta\lambda_{0.5}$ показали наибольшую амплитуду изменений. По теоретическим контурам водородных линий H_1 и H_2 , полученных Михаласом, определены значения эффективной температуры (T_e) и ускорения силы тяжести ($\log g$) для каждой фазы наблюдения. Оказалось, что $\log g$ показывает переменность и максимальное его значение приходится на фазу, близкую к нулевой. Изменение V_r незначительно.

1 *Введение* Настоящая статья является продолжением нашей работы [1] по спектрофотометрическому исследованию магнитно-переменной звезды 21 Per (HD 18296). В первой работе [1] были получены изменения лучевых скоростей (V_r) и интенсивностей (W_r) спектральных линий разных элементов (Eu, Gd, Cr, Sr, Zr, V, Si, Ca и др.) в области спектра λ 3700—4680 А в течение периода, а также проведены поиски линий тяжелых элементов в спектре 21 Per.

Данное исследование проводилось на основе того же спектрального материала (с дисперсией 4 и 8 А/мм), полученного на 2.6 метровом рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, негативы фотометрировались на саморегистрирующем микрофотометре с записью в пря-

мых интенсивностях в САО АН СССР. Методика измерений и обработки спектрограмм описана ранее [1]. Для вычисления фаз использовался период ($P = 2^d 88422$), полученный Престоном [2].

Задача настоящей работы заключалась в исследовании профилей линий железа и в изучении распределения Fe по поверхности звезды, а также в изучении поведения профилей водородных линий H_β и H_γ в течение периода у 21 Per.

2. *Распределение Fe по поверхности звезды 21 Per.* Ввиду сильного блендирования и переменности линий очень трудно составить правильное представление об истинной форме линий. Поэтому в данной работе мы использовали дополнительно спектры в области 4680—6600 Å, полученные в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР на 2,6-метровом рефлекторе с дисперсией 4 Å/мм. Для того, чтобы выяснить форму истинного профиля спектральных линий железа в разных фазах периода, нами был получен по регистрограммам (для большей надежности) средний профиль, выведенный из 7—10 линий FeII. На основе полученных данных, была тщательно изучена область спектра $\lambda \lambda < 4800$ Å, для которой имеется достаточное число спектрограмм. Одними из наиболее «чистых», неблендированных линий оказались линии FeII 4351.76 и 4263.90 Å, выбранные нами для дальнейших измерений. Выбранные линии уверенно разделяются на регистрограммах на отдельные компоненты, для каждого из которых мы определяли лучевые скорости (V_r , км/сек) и эквивалентные ширины (W_r , Å) обычным способом, с помощью электронносчетного планиметра [1]. Лучевые скорости отдельных компонент определялись следующим образом. Предполагаем, что при изменении положения линии на спектрограмме с помощью измерительного микроскопа ИЗА-2 [1] мы получали длину волны ее центра тяжести, так как через микроскоп отдельные компоненты спектральной линии были не видны. Следовательно, кривые лучевых скоростей в [1] относятся к центрам тяжести линий. Если теперь на регистрограммах с записью спектров измерить смещения относительно центра тяжести площади всей линии то, воспользовавшись кривыми (V_r , P) из [1], можно построить кривые лучевых скоростей для каждого компонента. Эта методика дала удовлетворительную точность (± 2 км/сек). Полученные данные представлены в табл. 1, откуда видно, что на поверхности 21 Per существуют четыре области, «пятна», в которых концентрируется железо. Два из них проходят видимый центральный меридиан в фазах 0.0 и 0.5, совпадая с участками, занимаемыми элементами группы I (Eu, Gd, Ti, Mn) [1], а два других пятна занимают промежуточное положение. Приблизительно одинаковая амплитуда изменения (V_r , P) свидетельствует о том, что пятна расположены на близких широтах. Характер кривых лучевых скоростей у обеих линий одинаков для всех пятен. Харак-

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ W_{λ} И ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ V_{λ} , ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО КОМПОНЕНТАМ ЛИНИЙ
 $Fe II \lambda 4351.76$ И $Fe II \lambda 4263.90 \text{ \AA}$

Дата наблюдения	пятна фаза	$W_{\lambda}, m\text{\AA}$				$V_{\lambda}, (\text{км/сек})$				$W_{\lambda}, m\text{\AA}$				$V_{\lambda}, (\text{км/сек})$			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	(P)	$Fe II \lambda 4351.76 \text{ \AA}$								$Fe II \lambda 4263.90 \text{ \AA}$							
6. XI. 1968	0.16	60	52	—	17	+ 8	-12	—	+20	28	22	—	20	+ 6	-11	—	-19
6. XI. 68	0.25	36	59	—	5	+15	- 3	-19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25. IX. 69	0.23	40	56	36	—	+19	- 3	-18	—	33	18	15	14	-10	- 8	-19	+20
8. X. 69	0.77	—	—	—	—	—	—	—	—	19	—	21	52	-20	—	+14	0
8. X. 69	0.73	—	—	—	—	—	—	—	—	24	—	26	63	-17	—	+23	+ 1
25. X. 69	0.70	—	—	—	—	—	—	—	—	9	—	35	40	-20	—	+12	- 8
26. X. 69	0.02	134	28	—	32	2	-18	—	+18	51	9	—	11	0	-16	—	+11
18. I. 70	0.76	30	—	20	83	-18	—	+19	+ 3	8	—	11	29	-15	—	-16	+ 2
15. II. 70	0.76	23	—	23	84	-12	—	+17	+ 3	5	—	21	41	-21	—	+16	- 5
22. II. 70	0.22	—	—	—	—	—	—	—	—	13	20	12	14	+ 8	- 4	-21	+15
24. II. 70	0.88	92	16	—	22:	- 3	-23	—	+17	40	14	5	11	- 9	-24	+20	+ 7
10. IX. 70	0.63	13	—	69:	54	-19	—	+19	0	14	—	30	28	-20	—	+ 9	- 6
15. IX. 70	0.35	—	42	76	8	+18	+ 8	-5:	-19:	21:	58:	25:	—	+22	+ 6	-17	—
16. IX. 70	0.71	32	—	48	67	-15	—	+16	+ 3	15	—	16	27	-20	—	+13	- 3
18. IX. 70	0.39	14	39	86	—	+17	+ 8	- 5	—	20	41	26	5	+23	+ 6	- 7	-20
20. IX. 70	0.11	94	35	—	20	+ 5	-13	—	+22	58	13	4	20	+ 4	-10	-23	-17
20. IX. 70	0.07	100	32	—	—	+ 5	-15	—	+18	—	—	—	—	—	—	—	—
11. I. 71	0.19	62	59	12	—	+13	- 5	22	—	33	31	8	—	+14	- 7	-19	—
13. I. 71	0.91	110	—	—	40	- 5	—	—	+ 9	34	12	5	14	- 6	-16	-19	+ 7
29. I. 72	0.98	130	23	—	21	+ 2	-15	—	+19	54	15	—	12	+ 1	-17	—	+17
31. III. 72	0.46	—	15	95	18	—	+19	0	-20	—	13	34	8	—	+15	- 6	-21

ма кривых изменения интенсивности линий (W_λ , P) симметрична у пяте-
I и III и несимметрична у II и IV, причем пологие части, создающие асим-
метрию, приходятся на фазы, близкие к нулевой.

На основании полученных наблюдательных данных были определены
«координаты» и размеры пятен железа с помощью методики, разработанной
и подробно описанной в работе [3], которая кратко заключается в сле-
дующем. Рассмотрим сферическую звезду, вращающуюся с периодом P во-
круг оси, наклоненной к лучу зрения на угол i (рис. 1). Пусть V_e — линей-
ная скорость вращения на экваторе, Φ — угол поворота звезды в простран-
стве, то есть угол между начальным меридианом и некоторой фиксирован-

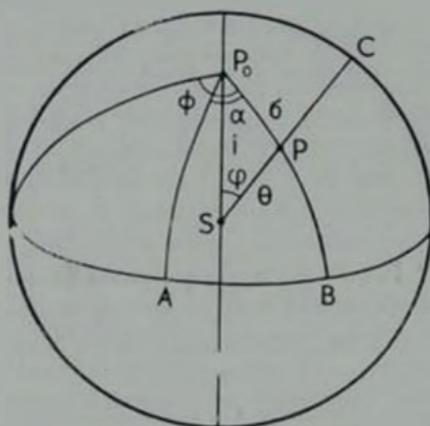


Рис. 1. Геометрия вращающейся звезды: i — угол наклона оси вращения к лучу зре-
ния, Φ — угол поворота звезды, P_0 — полюс вращения, S — центр видимого диска звезды,
 P_0A — начальный меридиан, P — произвольная точка на поверхности, α и δ — координаты
точки P в системе координат, жестко связанной со звездой, φ и θ — координаты точки
 P в неподвижной системе координат с осью Z , проходящей через центр звезды и точку
 S на ее поверхности

ной в пространстве плоскостью (в нашем случае это плоскость, проходя-
щая через полюс вращения P_0 , центр звезды и одну из точек пересечения
лимба звезды с экватором). Эквивалентная ширина линии с видимой полу-
сферы будет

$$W(\Phi, i) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} w(\alpha, \delta) \sin \theta \cos \theta d\delta d\varphi, \quad (1)$$

где $\sin \theta d\alpha d\delta d\varphi$ — элемент поверхности в сферических координатах для
единичного радиуса, а $\cos \theta$ учитывает проекцию элемента на картинную
плоскость. Будем искать распределение эквивалентной ширины $W(\alpha, \delta)$ по
поверхности звезды в виде однородных круглых пятен с координатами

центра (α_k, δ_k) , радиусом r_k и интенсивностью A_k . Интегрирование в (1) при различных α_k, δ_k, r_k и A_k дает

$$W_k(\Phi, i) = A_k W(\Phi, i, \alpha_k, \delta_k, r_k). \quad (2)$$

Те же величины входят в выражение для лучевой скорости, определяемой положением центра тяжести спектральных линий либо их отдельных компонент. Лучевая скорость элемента поверхности звезды равна $V_s \sin \varphi \sin i \sin \theta$, а всей видимой поверхности

$$V(\Phi, i) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} V_s(\alpha, \delta) \sin \varphi \sin^2 \theta \cos \theta d\theta d\varphi}{W(\Phi, i)}. \quad (3)$$

Значения $W(i, \alpha_k, \delta_k, r_k)$ и $V(i, \alpha_k, \delta_k, r_k)$ вычислялись на ЭВМ-222 и оформлялись в виде таблиц [3]. Углы наклона i определялись с использованием эмпирических зависимостей R/R_s от эффективной температуры T_e [4] (у 21 Per $T_e = 11700^\circ$). Тогда, имея для 21 Per радиус R и период вращения P [2], находим V_s , а так как $V_s \sin i = 24$ км/сек, то отсюда $i = 35^\circ$. Величина $V_s \sin i$ определялась приближенно из-за сложной формы профилей линий и отсутствия данных о широте, на которой расположены пятна.

Процедура нахождения размера пятна и его локализации на поверхности заключается в следующем. Точка пересечения кривой лучевых скоростей (V_s, P) с линией $V_s = 0$ км/сек и положение максимума кривой (W_s, P) дают долготу центра пятна. Для 21 Per долгота I—IV пятен железа составляет $357^\circ, 101^\circ, 180^\circ$ и 270° соответственно. Далее по очереди для всех пятен подбираем теоретические зависимости (W_s, P) и (V_s, P) , [3], согласующиеся с наблюдаемыми при некоторых значениях углов наклона i , близких предварительному $i \sim 35^\circ$. Оказалось, что можно подобрать несколько пятен разного размера и расположенных на разной широте, которые дают теоретические кривые (W_s, P) и (V_s, P) , близкие к наблюдаемым. Выбор одного из предварительно полученных пятен определяется такой теоретической зависимостью (V_s, P) , которая лучшим образом согласуется с наблюдаемой. На рис. 2 и 3 представлены теоретические и наблюдаемые зависимости (W_s, P) и (V_s, P) , давшие лучшее согласие с наблюдениями при $i = 40^\circ$. Широта центров I—IV пятен оказывается равной $-20^\circ, +10^\circ, -20^\circ, -10^\circ$ и радиусы равны $55^\circ, 20^\circ, 55^\circ, 30^\circ$ соответственно. Большой разброс точек для Fe II $\lambda 4263.90$ объясняется ошибками измерений, так как в среднем эквивалентная ширина спектральной линии невелика и составляет $20 - 30$ мА. Заметим, что

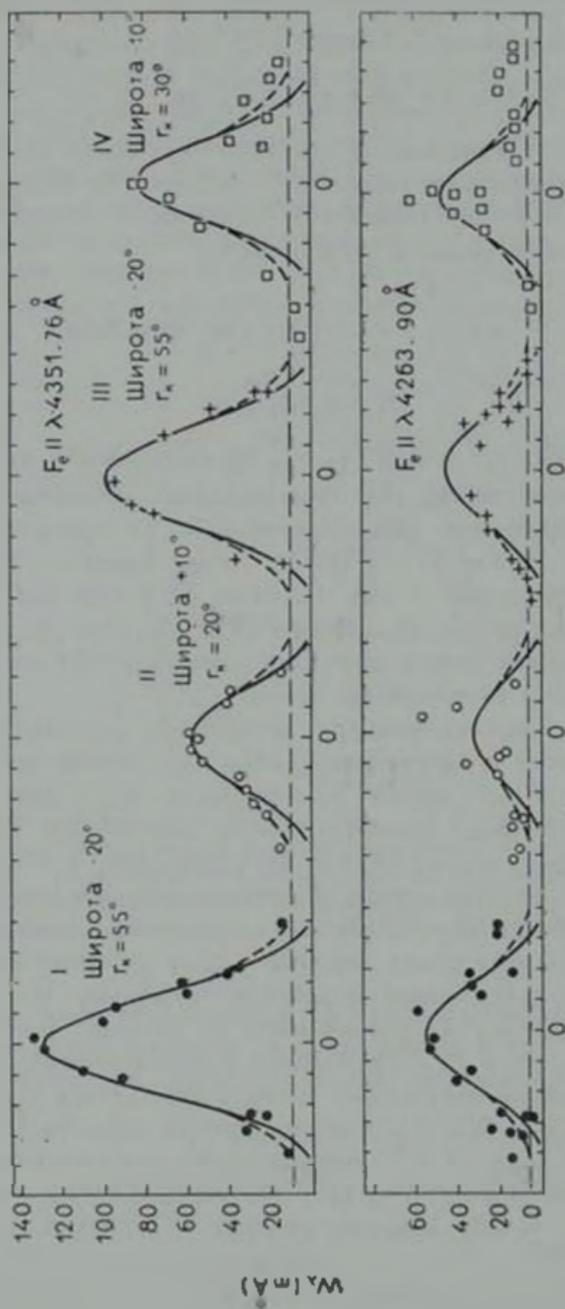


Рис. 2. Сравнение наблюдаемых (значки) и теоретических (плавная линия) зависимостей (W_{λ}, P) для $\lambda 4351.76$ и $\lambda 4263.90$ при $i=40^{\circ}$ у пятен I—IV, где на оси абсцисс принято условно $P=0$ в момент прохождения центра пятна через видимый центральный меридиан

на рис. 3 для каждого пятна все точки, принадлежащие обеим длинам волн, нанесены вместе, а кривые отрицательных и положительных значений совмещены.

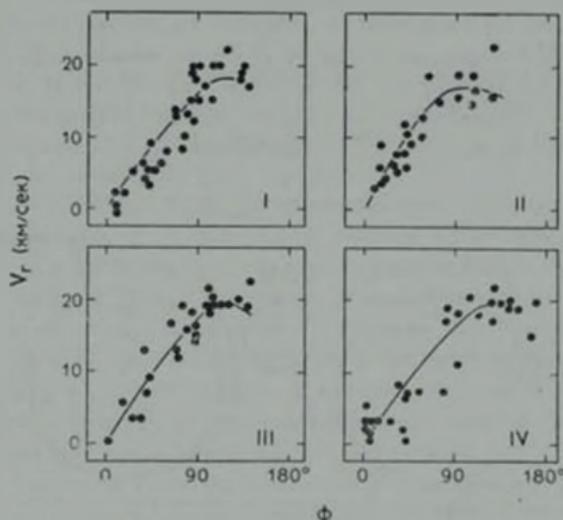


Рис. 3. Сравнение наблюдаемых (точки) и теоретических (сплошная линия) зависимостей (V_r , P) для λ 4351,76 и λ 4263,90 при $i=40^\circ$ у пятен I—IV. ϕ —угол поворота центра пятна от меридиана, проходящего через центр видимого диска.

Первое и третье пятна хорошо представляются нашей моделью (сплошная кривая), а для четвертого пятна правые части графических зависимостей не удается достаточно хорошо представить данной моделью, по-видимому, из-за асимметричности самого пятна или ошибок наблюдений. При приближении пятна к краю видимого диска звезды наблюдается некоторое уменьшение лучевой скорости (V_r), которое связано с тем, что из-за значительного наклона оси вращения к лучу зрения, после захода центра пятна за лимб, край пятна, близкий к полюсу вращения и имеющий поэтому меньшую лучевую скорость, виден еще некоторое время. Максимальное значение V_r наблюдается в момент прохождения центра тяжести пятна через меридиан, проходящий через полюс вращения и точку пересечения лимба с экватором. На рис. 4 приводим карту поверхности 21 Per с расположением на ней пятнами железа для $i=40^\circ$, кроме того сюда же мы нанесли области концентрации европия (штриховая линия), найденные в [3], центры последних практически совпадают с центрами I и III пятен железа. Карты распределения пятен железа по поверхности звезды, построенные для $i=40^\circ$ и 50° , не дали значительного различия между собой, следовательно метод [3] мало чувствителен к углу наклона i , но отметим, что для

$i=40^\circ$ теоретические и наблюдаемые зависимости (W_λ, P) и (V_λ, P) у FeII согласуются лучше, чем для $i=50^\circ$. У элемента EuII, наоборот, лучшее согласие наблюдается при $i=50^\circ$ [3]. Поэтому окончательное значение угла наклона i будет получено только после изучения распределения остальных химических элементов по поверхности звезды. Интенсивность линии FeII 4351.76 Å в каждом из пятен I—IV по отношению к интенсивности в первом пятне составляет 1.3, 0.75 и 1.5 для пятен II, III и IV соответственно. Из приведенных чисел видим, что во втором и четвертом пятнах хотя и меньших по размеру, концентрация железа получается больше

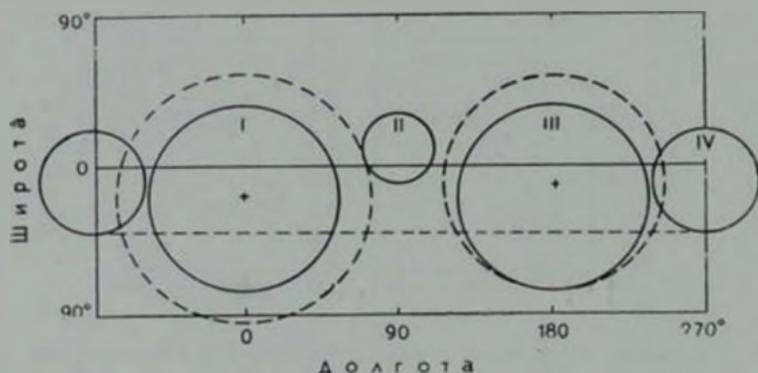


Рис. 4. Расположение пятен I—IV на поверхности звезды 21 Per при $i=40^\circ$, где сплошными линиями обведены области концентрации FeII, а штриховыми—области EuII [3].

Линия FeII 4263.90 Å дала другое соотношение концентрации железа в пятнах, но эти данные менее точные, так как интенсивность этой линии почти вдвое слабее, чем у λ 4351.76, а амплитуда ее изменения сравнима с точностью измерений. Заметим, что если принять интенсивность линии FeII 4351.76 Å даваемой областями между пятнами, равной $10 m\text{Å}$, а для λ 4263.90 Å— $5 m\text{Å}$, то согласие наблюдаемых и теоретических кривых (W_λ, P) на рис. 2 получается лучше (штриховая линия).

5. Изучение изменений водородных линий H_γ и H_β в течение периода. Известно, что линии водорода в спектрах магнитных звезд переменны [5—13], однако причины этого до сих пор до конца не выяснены. Поэтому накопление наблюдательных данных о характере и особенностях этой переменности является очень важной задачей. Аналогично тому, как это делалось в [9, 11—14], мы определяли следующие параметры исследуемых водородных линий: W_λ — полные эквивалентные ширины, W_α и W_β — эквивалентные ширины центральных частей и крыльев соответственно, $\Delta\lambda$ — полуширины линий на разной глубине ($i=0.3, 0.4, 0.5, 0.6$), R_λ —

глубины линий на разных расстояниях от центра линии ($i=3, 5, 7 \text{ \AA}$) и R_0 —центральные глубины линий. Полученные данные для обеих линий приводятся в табл. 2. Максимальные ошибки измеренных параметров составляют: $\Delta W_3 = 5\%$, $\Delta W_5 = 9\%$, $\Delta W_7 = 10\%$, $\Delta R_0 = 2\%$, $\Delta R_3 = 2.7\%$, $\Delta(\Delta i_{0.5}) = 6\%$, $\Delta(\Delta i_{0.6}) = 7\%$.

Оказалось, что все параметры, кроме W_4 , испытывают заметные изменения. Форма кривых которых близка к двойной волне, такой же характер переменности имеют интенсивности линий ряда элементов [1] и блеска звезды [2]. У линий H_1 и H_2 параметры W_3 , W_5 и $\Delta i_{0.5}$ показали наибольшие изменения. Следует заметить, что, несмотря на значительное число спектрограмм (25), некоторые участки полученных нами зависимостей не удается проследить достаточно надежно ввиду большого разброса точек. В качестве примера приводим на рис. 5 некоторые характерные зависимости полученных параметров от фазы для линии H_1 . Линия H_2 показала зависимости, подобные H_1 , но с большим разбросом точек.

Как известно, форма профилей водородных линий зависит от эффективной температуры T_e и ускорения силы тяжести g . Сравнивая наблюдаемые профили с теоретическими, рассчитанными для моделей атмосфер с набором параметров T_e и $\log g$, можно определить эти величины для 21 Per, если нет существенных нарушений в строении ее атмосферы. Некоторые авторы считают, что в первом приближении строение атмосфер peculiarных звезд сходно со строением нормальных звезд той же температуры [15, 16]. О наличии небольших отклонений строения атмосфер Ap-звезд от нормального может свидетельствовать уменьшенный бальмеровский скачок у них [17—20]. Однако в качестве первого приближения обычно применяют модели атмосфер нормальных звезд. Для определения $\theta_e = 5040/T_e$ и $\log g$ использовались теоретические контуры водородных линий H_1 и H_2 вычисленные Михаласом [21], с помощью которых мы строили сетки зависимостей Δi_i и R_i от $\log g$ для ряда θ_e и g . Затем, входя в них с соответствующими измеренными наблюдаемыми значениями, снимали ряд величин $\log g$ в зависимости от θ_e . Если теперь построить графики по снятым значениям θ_e и $\log g$, то они пересекутся в точке (в идеальном случае), соответствующей истинным значениям θ_e и $\log g$ для 21 Per. В результате такой процедуры нами получены средние для двух линий данные, приведенные в табл. 3, из которой видно, что температура θ_e практически не меняется, во всяком случае в пределах точности, равной $\pm 200\text{--}300^\circ$, а колебания ускорения силы тяжести превышают ошибки измерений. Изменения блеска 21 Per (см. рис. 5), если их приписать вариациям температуры, тоже соответствуют $\Delta T_e = \pm 200^\circ$. Таким образом, характер изменений контуров водородных линий H_1 и H_2 у 21 Per таков, что можно предположить переменность ускорения силы тяжести ($\log g$) на поверхности. Н.

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ (W_A , W_U И W_B , A), ПОЛУШИРИНЫ ($\Delta\lambda_7$, A_1 И
 ДЛЯ H_1 И

Дата наблюдения	Фаза (P)	H_1								
		W_A	W_U	W_B	$\Delta\lambda_{0,6}$	$\Delta\lambda_{0,5}$	$\Delta\lambda_{0,4}$	$\Delta\lambda_{0,3}$	R_a	R_3
1968 г.										
6-7.XII	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
"	0.19	11.0	3.0	7.9	—	—	—	—	—	—
"	0.26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7-8.XI	0.66	10.0	2.6	7.4	1.8	3.1	4.8	7.0	0.878	0.480
1969 г.										
25-26.IX	0.24	10.0	3.0	7.0	2.0	3.2	4.5	6.4	0.868	0.450
"	0.26	9.8	2.0	7.8	1.3	2.4	4.0	6.2	0.884	0.470
8-9.X	0.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
"	0.77	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25-26.X	0.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26-27.X	0.02	11.8	4.2	7.8	3.6	4.2	5.7	7.6	0.901	1.570
1970 г.										
14-15.I	0.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15-16.II	0.76	11.6	3.5	7.1	2.2	3.3	5.2	7.4	0.916	0.520
22-23.II	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
"	0.22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24-25.II	0.88	11.2	2.2	9.0	1.5	2.9	4.5	7.5	0.869	0.490
10-11.IX	0.63	10.8	2.5	8.3	1.9	3.3	5.1	7.1	0.874	0.520
11-12.IX	0.98	11.4	3.4	7.0	2.2	3.6	5.5	7.9	0.910	0.550
15-16.IX	0.35	10.6	2.3	8.3	1.8	3.4	5.4	7.5	0.846	0.520
16-17.IX	0.71	10.2	3.2	7.0	2.0	2.9	4.2	5.9	0.900	0.500
18-19.IX	0.39	10.6	2.6	8.0	2.2	3.7	5.5	7.9	0.850	0.550
20-21.IX	0.11	12.0	3.4	8.6	2.4	4.0	6.0	8.6	0.915	0.550
1971 г.										
11-12.I	0.19	11.0	2.8	8.2	1.9	3.5	5.6	7.9	0.892	0.520
13-14.I	0.91	10.8	2.4	8.4	1.8	3.0	4.4	6.1	0.879	0.500
1972 г.										
29-30.I	0.98	11.2	3.2	8.0	1.6	2.8	4.7	7.3	0.880	0.580
31.III-1.IV	0.46	10.4	2.9	7.5	2.0	3.4	5.0	7.0	0.851	0.530

Таблица 2

 ГЛУБИНЫ НА РАЗНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ ЦЕНТРА ЛИНИИ (R_l)
 H₂ У 21 PER

		H ₂										
R ₃	R ₁	W ₁	W ₂	W ₃	Δ _{0.6}	Δ _{0.5}	Δ _{0.4}	Δ _{0.3}	R ₀	R ₃	R ₁	R ₁
—	—	10.4	4.0	6.4	2.7	4.1	5.7	7.4	0.870	0.575	0.440	0.325
—	—	10.6	3.5	7.1	2.5	4.0	5.8	7.8	0.870	0.560	0.440	0.330
—	—	9.8	3.4	6.4	2.2	3.5	5.0	6.8	0.840	0.535	0.400	0.290
0.380	0.300	10.0	2.9	7.1	2.0	3.3	5.0	6.7	0.880	0.525	0.400	0.285
0.360	0.270	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.360	0.270	10.0	2.9	7.1	2.0	3.3	4.9	6.8	0.870	0.520	0.400	0.290
—	—	10.6	3.5	7.1	2.3	3.7	5.3	7.0	0.896	0.550	0.420	0.300
—	—	11.3	4.6	6.7	3.2	4.6	6.1	7.9	0.890	0.610	0.480	0.350
—	—	10.5	4.0	6.5	2.7	4.0	5.5	7.4	0.946	0.580	0.435	0.320
0.450	0.330	11.7	5.3	6.4	3.6	5.0	6.4	8.2	0.940	0.650	0.550	0.365
—	—	11.2	3.8	6.8	3.8	5.0	6.4	8.0	0.930	0.665	0.505	0.365
0.410	0.320	11.0	4.3	6.7	3.1	4.4	5.6	7.2	0.920	0.620	0.450	0.310
—	—	10.8	4.3	6.7	2.8	4.1	5.7	7.6	0.888	0.580	0.440	0.330
—	—	10.7	4.7	6.0	3.3	4.7	6.3	8.2	0.888	0.625	0.490	0.365
0.380	0.320	11.5	4.2	7.3	3.1	4.8	6.7	8.7	0.883	0.610	0.490	0.390
0.400	0.300	11.0	2.7	8.3	2.6	4.0	5.7	7.5	0.894	—	—	—
0.420	0.330	11.0	4.0	6.0	2.6	4.0	5.6	7.6	0.917	0.570	0.435	0.330
0.420	0.320	10.2	3.8	6.4	2.2	3.9	5.0	6.8	0.905	0.530	0.400	0.290
0.350	0.240	9.8	3.6	6.2	2.0	3.1	4.3	6.1	0.904	0.510	0.360	0.250
0.430	0.340	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.450	0.370	11.0	4.2	6.8	2.8	4.1	5.7	7.8	0.878	0.555	0.450	0.340
0.430	0.340	11.0	4.2	6.8	2.9	4.5	6.3	8.1	0.880	—	—	—
0.360	0.270	11.2	4.0	7.2	2.7	4.0	5.6	7.5	0.920	0.575	0.440	0.325
0.390	0.310	11.3	3.8	7.0	2.6	4.0	5.6	7.6	0.898	0.565	0.435	0.330
0.400	0.300	10.6	3.6	7.0	2.3	3.6	5.1	7.5	0.885	0.550	0.410	0.320

рис. 5, для примера, приведена зависимость $\log g$ от P для H_{γ} , найденная выше описанным способом. Ускорения силы тяжести определялись здесь при постоянной температуре $\theta_e = 0.425$, взятой из [4], которая была определена по распределению энергии в непрерывном спектре звезды 21 Per.

Таблица 3

УСРЕДНЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ $\bar{\theta}_e = 5040^\circ/T_e$ И $\overline{\log g}$, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО КОНТУРАМ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ H_{γ} И H_{ϵ} С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МИХААЛСА [21] ДЛЯ ЗВЕЗДЫ 21 PER

Фаза (P)	$\bar{\theta}_e = [\theta_e(H_{\gamma}) + \theta_e(H_{\epsilon})]/2$	$\overline{\log g} = [\log g(H_{\gamma}) + \log g(H_{\epsilon})]/2$
0.00	0.478 ± 0.006	3.24 ± 0.07
0.10	0.477 ± 0.007	3.17 ± 0.07
0.20	0.476 ± 0.010	3.02 ± 0.10
0.25	0.473 ± 0.007	2.72 ± 0.04
0.30	0.470 ± 0.006	2.72 ± 0.07
0.40	0.478 ± 0.005	3.00 ± 0.08
0.50	0.480 ± 0.009	2.60 ± 0.05
0.60	0.477 ± 0.010	3.00 ± 0.05
0.65	0.470 ± 0.007	3.01 ± 0.08
0.70	0.468 ± 0.005	3.10 ± 0.06
0.80	0.476 ± 0.010	3.16 ± 0.09
0.85	0.466 ± 0.007	3.10 ± 0.09
0.90	0.471 ± 0.010	3.22 ± 0.06

4. *Обсуждение результатов.* Применение методики [3] позволяет, как мы видели выше, находить координаты и размеры пятен, а также эквивалентные ширины спектральных линий, даваемые каждым пятном. В дальнейшем это позволит определять химический состав в областях концентрации элементов и вне их.

Итак, на основании изучения профилей линий железа у 21 Per, мы убеждаемся в сложности спектров у этой магнитной звезды, одной из причин которой является «пятнистое» распределение элементов по поверхности звезды. Используемая нами простейшая модель концентрации элементов по поверхности в виде круглых пятен [3], даже без учета эффекта потемнения к краю диска, дает удовлетворительное согласие с наблюдениями (учет потемнения к краю даст некоторое увеличение размеров областей концентрации элементов). Результаты данного исследования указывают на возможность и необходимость подробного изучения спектров 21 Per для полного «картирования» ее поверхности, которое важно для выяснения механизма образования аномалий химического состава, так как «картирова-

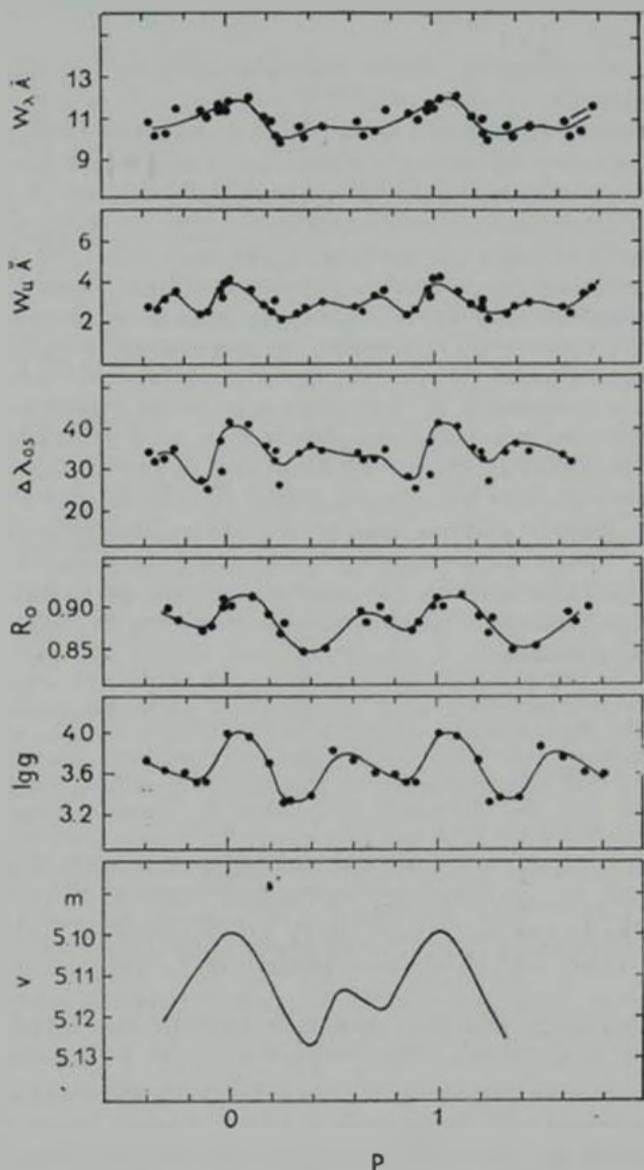


Рис. 5. Изменение различных физических параметров в спектре 21 Peg в течение периода (P): 1) Изменение эквивалентной ширины (W_{λ} , Å) линии H_{γ} . 2) Изменение эквивалентной ширины центральной части линии H_{γ} (W_0 , Å). 3) Изменение полуширины линии H_{γ} на глубине 0.5 ($\Delta\lambda_{0.5}$, Å). 4) Изменение центральной глубины линии H_{γ} (R_0). 5) Изменение эффективной силы тяжести ($\log g$), полученной по линии H_{γ} с помощью моделей Минзаласа [20] при $\theta_p = 0.425$. 6) Кривая блеска 21 Peg по данным [2].

ние» позволяет установить, в каком сочетании друг с другом расположены элементы по поверхности звезды.

Полученные нами данные о переменности водородных линий не противоречат предположению Ракоша и др. [22] о том, что под воздействием магнитного поля эффективное ускорение силы тяжести может существенно измениться. В полярных областях магнитное поле не влияет на g , поскольку там частицы свободно скользят вдоль силовых линий. На магнитном экваторе g уменьшается, так как заряженные частицы движутся поперек поля и испытывают торможение. Ракош и др. [21] продемонстрировали этот эффект на примере $\alpha^2 CV_n$ и нашли, что изменения блеска этой звезды могут вызываться также и неравномерностью распределения ускорения силы тяжести по поверхности. У 21 Per фотометрическая переменность очень мала, следовательно, температурный эффект здесь слаб. Изменения контуров водородных линий 21 Per могут происходить не только из-за вариаций $\log g$, но также и в том случае, если на разных участках поверхности звезды имеются нарушения структуры атмосферы из-за неоднородностей химического состава. Поскольку последнее несомненно, то переменность контуров водородных линий вызывается, по-видимому, обоими факторами.

Авторы выражают благодарность И. М. Копылову за просмотр рукописи и ценные указания.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР
Крымская астрофизическая
обсерватория АН СССР

SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION OF THE MAGNETIC VARIABLE STAR 21 PER. II. DISTRIBUTION OF Fe OVER THE STAR'S SURFACE AND THE STUDY OF H₁ AND H₂ HYDROGEN LINE VARIATIONS DURING THE PERIOD

Yu. V. GLAGOLEVSKY, K. I. KOZLOVA, V. S. LEBEDEV, N. S. POLOSUKHINA

Fe II line profiles consisting of a few components are studied in 21 Per using spectrograms with dispersions 4 and 8 Å/mm. Radial velocities (V_r) and equivalent widths (W_λ) are obtained from the components of Fe II 4263.90 and Fe II λ 4351.76 lines. The plot of V_r versus phase (P) gives 4 branches and correspondingly 4 curves (W_λ , P). The data analysis shows that iron is concentrated in 4 regions of the surface of 21 Per which are evenly distributed along the equator of rotation. The coordinates of the centers of the spots and their sizes as well as relative intensities of Fe II λ 4351.76 line in each of them are determined.

Variability of different physical parameters (W_λ , $\Delta\lambda_\lambda$, R_λ) of H_γ and H_β hydrogen lines for period 2^d88 is studied in 21 Per. The variations showed a double wave similar to the light curve. W_λ , W_β and $\Delta\lambda_{0.5}$ showed the greatest amplitude variations. By a comparison of the observed H_γ and H_β hydrogen line contours with the theoretical ones obtained by Mihalas [21] the effective temperature (θ_e) and force of gravity ($\log g$) values for each phase of the observations are determined. It turned out that $\log g$ varies during the period, and the largest amplitude of variations falls on the phase close to zero. The amount of change in θ_e is small.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю. В. Глазольский, К. И. Козлова, Н. С. Полосухина, *Астрофизика*, 10, 517, 1974.
2. J. Preston, *Ap. J.*, 158, 251, 1969.
3. В. С. Лебедев, *Изв. САО АН СССР*, 8, 20, 1976.
4. Ю. В. Глазольский, К. И. Козлова, Н. М. Чунакова, *Изв. САО АН СССР*, 5, 52, 1973.
5. H. J. Wood, *P. A. S. P.*, 76 158, 1964.
6. В. А. Хохлова *Св. -Магнитные звезды* (Труды совещания), Баку, 1975.
7. H. J. Wood, *The Magnetic and Related Stars*, ed. R. Cameron, 485, 1967.
8. K. Kodaira, *Ann. Tokyo Astron. Obs.*, 10, No. 4, 11 Ser., 1967.
9. К. И. Козлова, *Изв. САО АН СССР*, (Астрофиз. исследования), 2, 18, 1970.
10. Р. Н. Кумайгородская, *Изв. САО АН СССР*, (Астрофиз. исследования), 2, 26, 1970.
11. Т. А. Рябчикова, *Изв. КрАО*, 45, 146, 1972.
12. Т. Н. Кумайгородская, Н. М. Чунакова, *Астрофизика*, 9, 608, 1973.
13. Р. Н. Кумайгородская, Н. М. Чунакова, *Изв. САО АН СССР*, 7, 3, 1976.
14. Р. Н. Кумайгородская, Н. М. Чунакова, *Сообщ. САО АН СССР*, № 10, 1973.
15. S. C. Wolff, *Ap. J., Suppl. ser.*, 15, 21, 1967.
16. D. F. Gray, I. C. Evans, *Ap. J.*, 182, 147, 1973.
17. Ю. В. Глазольский, *Астрон. ж.*, 43, 73, 1966.
18. Ю. В. Глазольский, *Труды Астрофиз. ин-та АН КазССР*, 7, 57, 1966.
19. В. М. Лябин, *Астрон. ж.*, 44, 1224, 1967.
20. M. Gerbaldi, V. Hauck, N. Morguleff, *Astron. Astrophys.*, 30, 105, 1974.
21. D. Mihalas, *Ap. J., Suppl. ser.*, No. 114, 13, 1-50, 1966.
22. K. D. Rakosch, R. Sexl, W. W. Weiss, *Astron. Astrophys.*, 31, 441, 1974.