



ISSN 1607–2855

Том 2 • № 2 • 2001 С. 59 – 69

УДК 524.338.3

Быстрые динамические процессы в атмосфере χ PSC

Н.З. Исмаилов

Шемахинская астрофизическая обсерватория АН Азербайджана

Приведены результаты спектральных наблюдений магнитной Ap звезды χ Psc (HD220825), полученные за 1998–1999 гг. Подтверждена обнаруженная авторами ранее кратковременная переменность параметров спектральных линий пульсационного характера. Проведен частотный анализ по параметрам спектральных линий в интервале частот 0–120 d⁻¹, по результатам которой выявлен период осцилляции $P_2 = 0.0119 \pm 0.0008$ дня. Помимо этого, возможно, существует период 0.0093 ± 0.0005 дней, а также известный период осевого вращения $P_1 = 0.5853 \pm 0.025$ дня. Показано, что магнитное поле звезды, хорошо описывается периодом пульсации, и показывает синхронное изменение с лучевыми скоростями линий пекулярных элементов. Разные спектральные линии показывают разные амплитуды кратковременной пульсации, а наибольшие амплитуды изменений спектральных параметров показывают пекулярные линии. Впервые обнаружено синхронное изменение напряженности магнитного поля звезды и спектральных параметров, полученные в разное время разными авторами. Показано, что магнитное поле и пекулярные характеристики звезды имеют определенную физическую связь.

ШВИДКІ ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В АТМОСФЕРІ χ PSC, Ісмаїлов Н.З. – Наведено результати спектральних спостережень магнітної Ap зірки χ Psc (HD220825), отримані протягом 1998–1999 рр. Підтверджено виявлену авторами раніше короткочасну змінність параметрів спектральних ліній пульсаційного характеру. Проведено частотний аналіз по параметрах спектральних ліній в інтервалі частот 0–120 d⁻¹, за результатами якої виявлено період осциляції $P_2 = 0.0119 \pm 0.0008$ дня. Крім цього, можливо, існує період 0.0093 ± 0.0005 днів, а також відомий період осевого обертання $P_1 = 0.5853 \pm 0.025$ дня. Показано, що магнітне поле зірки, добре описується періодом пульсації, і показує синхронну зміну з променевими швидкостями ліній пекулярних елементів. Різні спектральні лінії показують різні амплітуди короткочасної пульсації, а найбільші амплітуди змін спектральних параметрів показують пекулярні лінії. Вперше виявлено синхронну зміну напруженості магнітного поля зірки і спектральних параметрів, отримані в різний час різними авторами. Показано, що магнітне поле та пекулярні характеристики зірки мають певний фізичний зв'язок.

QUICK TIME DYNAMIC CHANGES IN THE ATMOSPHERE OF χ PSC, by Ismailov N.Z. – Based on high spectral and time resolution spectroscopy the results for the 1998–1999 observations of magnetic peculiar Ap star χ Psc (HD220825) were presented. Sort time pulsation type variation of spectral lines parameters were observed. On the power spectra analysis in range of frequency 0–120 d⁻¹ on the various of spectral lines parameters we determined 3 possible periods. $P_1 = 0.585 \pm 0.025$ days, probable is rotation period of the star. The period $P_2 = 0.0119 \pm 0.0008$ days (17 min) and possible $P_3 = 0.0096 \pm 0.0004$ days (13 min) may be pulsation periods of the star. It is showed that early measured by other authors magnetic field of the star well described with the periods P_1 and P_2 and shows variability as radial velocity curves of spectral lines of peculiar elements. Different lines in whole shows pulsation type variability with various amplitudes of radial velocities, and lines of peculiar elements shows large amplitudes. First were obtained synchrony variation of spectral parameters of lines with magnetic field strength whose had been observed by different authors in different times. It is showed that magnetic field and peculiarity character of the star have some physical connection.

1. ВВЕДЕНИЕ

Примерно около 30 лет назад, по фотометрическим данным, среди магнитных Ap звезд были обнаружены быстрые периодические изменения блеска с небольшой амплитудой. По данным Перси [21] изменение блеска пекулярной звезды 21 Com происходит с периодом 30 минут. Короткие периоды изменений блеска у этих звезд также наблюдали Вууд [30] и Куртс [18]. С тех пор выделяется группа так

называемых γ Ар звезд, показывающих быструю переменность блеска. Недавно Канаан и Хатзес [14] наблюдали быструю ($P \sim 12$ минут) осцилляцию доплеровского смещения различных спектральных линий γ Ери показывающих разные амплитуды в разных участках спектра. Авторами данной работы недавно была обнаружена быстрая переменность спектра Ар звезды χ Пс [1] с вероятным периодом осцилляции около 17 минут.

К настоящему моменту, известно около 30 γ Ар звезд. Основные характеристики этих звезд подробно описаны в обзорах [18, 20, 27, 29]. Как правило, γ Ар звезды пульсируют нерадиальными р-модными пульсациями в интервале периодов 4–15 минут, расположены с холодной стороны на классической неустойчивой ветви диаграммы ГР. Они проходят стадию ядерного горения водорода и являются магнитными ротаторами. Кроме того, γ Ар звезды являются магнитными пульсаторами [19], где направление нерадиальных пульсаций выстроены наклоном относительно магнитной оси. Имеются некоторые предложения (см. например, [19, 26, 8, 28]), объясняющие приблизительный механизм возникновения быстрых пульсационных колебаний у γ Ар звезд, но они пока не состоятельны полностью объяснить наблюдаемые свойства этих звезд. Наблюдаемые свойства γ Ар звезд вызывают весьма большой интерес научной общественности, т.к. эти звезды являются диагностическим средством для звездной сейсмологии у звезд типа А–F, имеющих сильные магнитные поля, и позволяют «взглянуть» на внутреннюю структуру звезды. Целью настоящей работы является дальнейшее спектральное исследование одного из классических Ар звезд χ Пс, для поиска возможных быстрых колебаний ее спектра.

Магнитная Ар звезда χ Пс (HD220825, тип Sr, Cr, Eu) является одним из относительно ярких пекулярных звезд. По данным разных авторов для скорости вращения звезды получены разные оценки. Например, по данным Боярчука и Копылова [4] для $v \sin i$ получено 48 км/с, а в работе Престона [22] приводится значение 34 км/с. Пипер и Адельман [23] получили скорость вращения $v \sin i = 38$ км/с и наклон оси вращения к лучу зрения $i = 8^\circ$.

Фотометрические наблюдения Ракоша (B,V) [24], Бланко и др.(UBV) [9] показали изменение блеска с амплитудой $0.^m02$ с разбросом $0.^m01$, причем в связи с неудачным выбором звезд-стандартов кривые блеска у этих авторов по форме сильно отличались между собой. Ван Гендереном [12] получено немного исправленное значение периода изменения блеска, равное $P = 0.^d5853$. Спектральные наблюдения Алиева [3] показали в целом согласие изменений с таким периодом и спектральных параметров χ Пс. Кейдл и Шнейдер [16] по узкополосной фотометрии обнаружили изменение блеска с периодом 1.4200 ± 0.0005 дня, а Керчбаум и Майтзен [15] с помощью наблюдений в u -полосе Стремгеновской фотометрии по 19 точкам обнаружили период 1.412 ± 0.001 дня.

Ранние наблюдения показали наличие переменного магнитного поля на поверхности звезды с экстремальными значениями $-400, +200$ Гс [11] и $-430, +190$ Гс [10].

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Спектральный материал охватывает 84 эшелле спектрограмм, полученных в 1998 (34 спектрограмм) и 1999 (50 спектрограмм) гг. по 4 серии наблюдений в каждый год. В каждой серии один за другим получено до 15 спектрограмм, с временным разрешением 3–10 минут, в зависимости от качества изображений. При выборе экспозиции мы старались, с одной стороны, увеличить временное разрешение, чтобы избежать перекрытия фаз кратковременного периода, с другой стороны, при этом не потерять в качестве спектра (соотношении S/N не меньше 60), чтобы сохранить высокую точность измерения спектральных параметров.

В табл.1 приведены дата наблюдений в юлианских днях, интервал наблюдательного времени на серию, количество спектрограмм для каждой серии, среднее время экспозиции. Спектральное разрешение не хуже $R = 30000$ в области линии H_α . Среднее отношение сигнала к шуму в этом же участке спектра $S/N = 120$. Описание аппаратуры подробно приведено в работе [1]. Окно ПЗС-детектора охватывает диапазон $\lambda\lambda$ 670–430 нм, который разделен на 40 участков, где номера порядков эшелле меняются от 71 по 111.

Таблица 1. Данные журнала наблюдений χ Psc.

Дата наблюдений JD	Интервал наблюдений UT	Количество спектрограмм	Средняя экспозиция (минут)
2451057	22 ч 36 м – 23 ч 59 м	15	5
2451058	20 ч 31 м – 22 ч 11 м	13	5
2451075	21 ч 20 м – 21 ч 35 м	3	6
2451076	19 ч 33 м – 20 ч 42 м	3	6
2451450	21 ч 44 м – 23 ч 27 м	14	6
2451451	22 ч 40 м – 23 ч 46 м	9	5
2451452	22 ч 32 м – 0 ч 23 м	13	6
2451453	14 ч 40 м – 21 ч 50 м	14	6

Для достижения высокой точности позиционных измерений по спектрограммам, важно правильно построить кривую дисперсии по порядкам. В пакете программ предоставлен каталог солнечного спектра, где значения лабораторных длин волн приведены с точностью ± 0.00001 нм. Кривые дисперсии нами строились по спектру дневного света. На рис.1 приводятся 4 разных примера кривых дисперсий, построенные для разных спектральных порядков по спектру дневного неба 1999 г. Как отсюда видно, все кривые дисперсии внутри порядка меняются по линейному закону. По всему I (71) порядку шириной $\Delta\lambda = 5.6238$ нм, линейная дисперсия меняется на 0.02533 нм/мм. Средняя ошибка дисперсии по каждому порядку $\sigma \leq 0.008$ нм/мм, среднеквадратичное отклонение каждой линии реперов по кривой дисперсии составляет $\sigma \approx 0.0003-0.0006$ нм. Это означает, что каждое измерение позиции линий может оцениваться с точностью $\pm 0.15-0.3$ км/с. На практике же, при оптимальном соотношении сигнала к шуму, рактическая точность измерений по позициям линий достигает $0.5-1.0$ км/с.

Были измерены эквивалентные ширины W_λ , полуширины $\Delta\lambda_{1/2}$, относительные интенсивности R_λ и лучевые скорости V_r линий H α , H β , MgI, MgII, FeII, FeI, SiII, CrII, Ti II и др. Для контролирования ста-

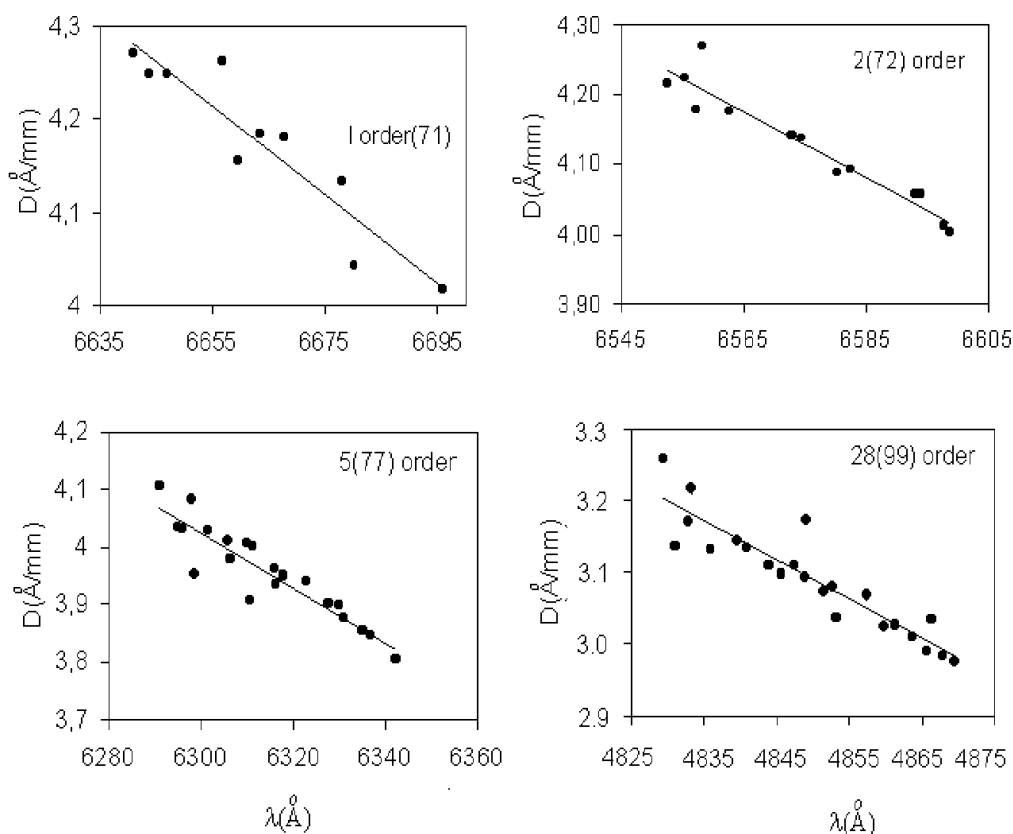


Рис.1. Примерные кривые дисперсии, построенные по спектру дневного света для разных порядков

бильности аппаратуры были систематически измерены параметры линий дневного спектра и спектра стандартных звезд HR 8506 и HR 0265. Среди “теллурических” линий измерены линии H_2O из 81 порядка $\lambda\lambda$ 590.9, 591.9, 593.2, 595.0 нм и из 76 порядка линии O_2 $\lambda\lambda$ 629.5, 629.8, 630.2, 630.6 нм. Среднеквадратичное отклонение по отношению эквивалентных ширин указанных линий не превосходит 7–8 %. Для лучевых скоростей этих же линий по всем наблюдениям получено среднеквадратичное отклонение от среднего $\sigma = \pm 0.6$ км/с.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Линии водорода H_α и H_β на уровне континуума очень широки (полная ширина 30–40 Å) и переменны. Примерно на уровне полуширины начинается глубокое узкое ядро. Средняя полуширина этих линий меняется в пределах 0.5–0.7 нм. Эквивалентные ширины указанных линий в разные фазы меняются в пределах 0.4–0.8 нм. Доплеровское смещение линии H_α на уровне полуширины отличается от смещения в ядре узкого пика, на 5–7 км/с в синюю сторону. Среднее значение лучевых скоростей по линиям водо-

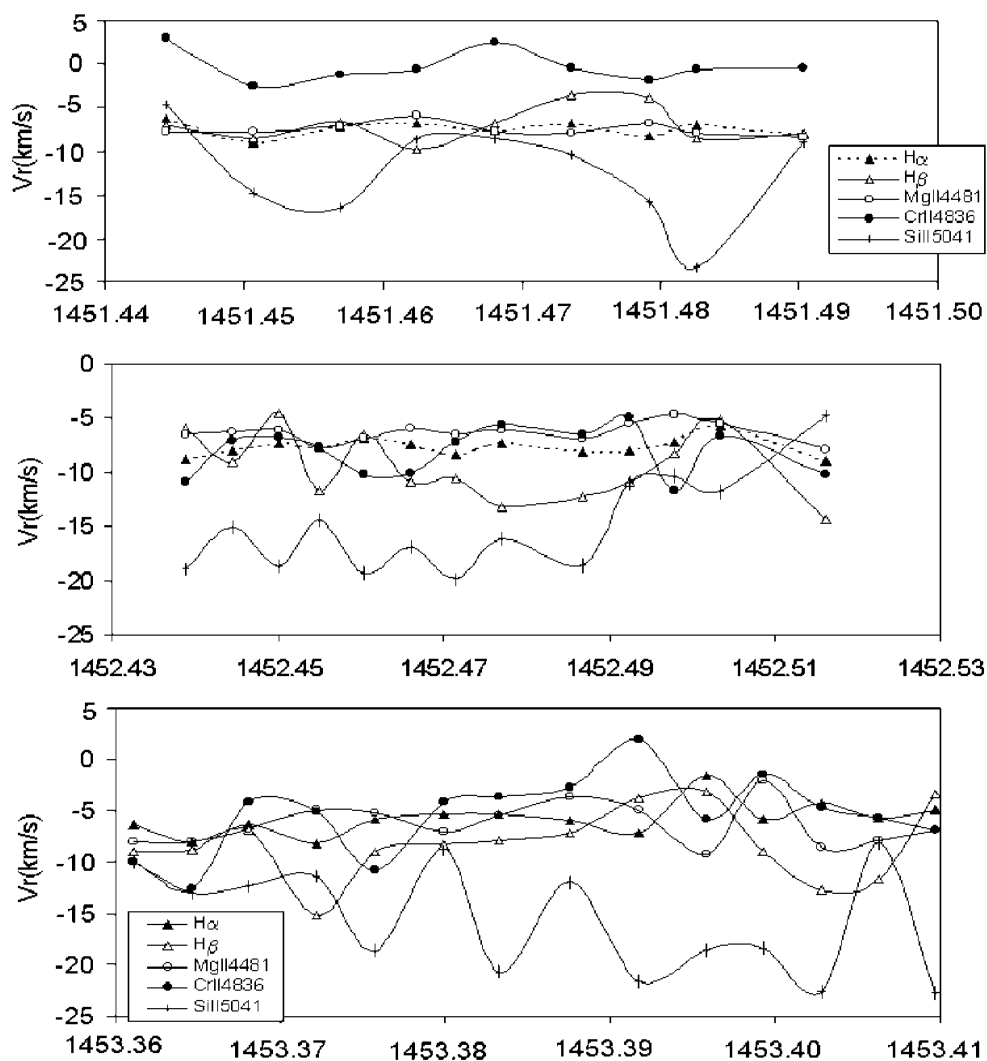


Рис.2. Временная зависимость лучевых скоростей для отдельных спектральных линий χ Psc, полученные по разным ночам наблюдений.

Таблица 3. К определению скорости вращения χ Psc.

$\Delta\lambda$ (Å)	$V \sin i$ (км/с)	$V_{\text{экв}}$ (км/с) ($R = 2.6R_{\odot}$)	$V_{\text{экв}}$ (км/с) ($R = 3R_{\odot}$)	I ($R = 2.6R_{\odot}$)	I ($R = 3R_{\odot}$)
1.1	36.1	226	260	8.°0	9.°2
1.2	40.1			8.°8	10.°2

рода совпадает со средним смещением остальных линий, по которым было получено для центра массы звезды $V_0 = -5.31 \pm 6.5$ км/с.

Как нами показано в работе [1], обе линии меняются, как с периодом $0.^{\text{d}}5853$ [12], так и с периодом $\sim 0.^{\text{d}}012$. Лучевые скорости в основном меняются в пределах, от -20 по -5 км/с у H_{β} и от -10 по 0 км/с у H_{α} , хотя имеет место отдельные отклонения от этих значений. В некоторые моменты синхронность изменений V_r незначительно нарушается.

На рис.2 приведена временная зависимость значений лучевых скоростей по последним трем сериям наблюдений. Часть аналогичных рисунков было опубликовано в [1]. Как отсюда видно, лучевые скорости отдельных спектральных линий показывают изменения пульсационного характера. Из рис.2 видно, что наблюдается изменение амплитуды пульсации лучевых скоростей. Амплитуда колебаний увеличивается, или ее уменьшается до полного затухания таких осцилляций. Этот процесс по характеру напоминает эффект резонанса [1].

Для поиска периодических изменений в спектре звезды нами проведен частотный Фурье анализ значений лучевых скоростей и эквивалентных ширин. С этой целью мы применили метод Скаргле [25], позже усовершенствованный Хорне и Балинасом [13]. Программа поиска периодов составлена Антохиным и в работе [7] подробно описана методика ее применения. Этот метод позволяет вычислить ложного значения частоты вероятностью F для любого пика высотой спектра мощности, т.е. вероятность того, что она будет больше белого шума, чем требуемое значение. Вероятность того, что данные содержат один периодический сигнал, равен $1-F$. Максимальный интервал частоты при таком поиске определяется соотношением $v_{\text{max}} = 1/2\Delta t_{\text{min}}$, где Δt_{min} – минимальное время между соседними точками наблюдений. По нашим данным значение $v_{\text{max}} = 144 \text{ d}^{-1}$.

В табл.2 мы приводим часть полученных результатов по поиску периодов по разным спектральным

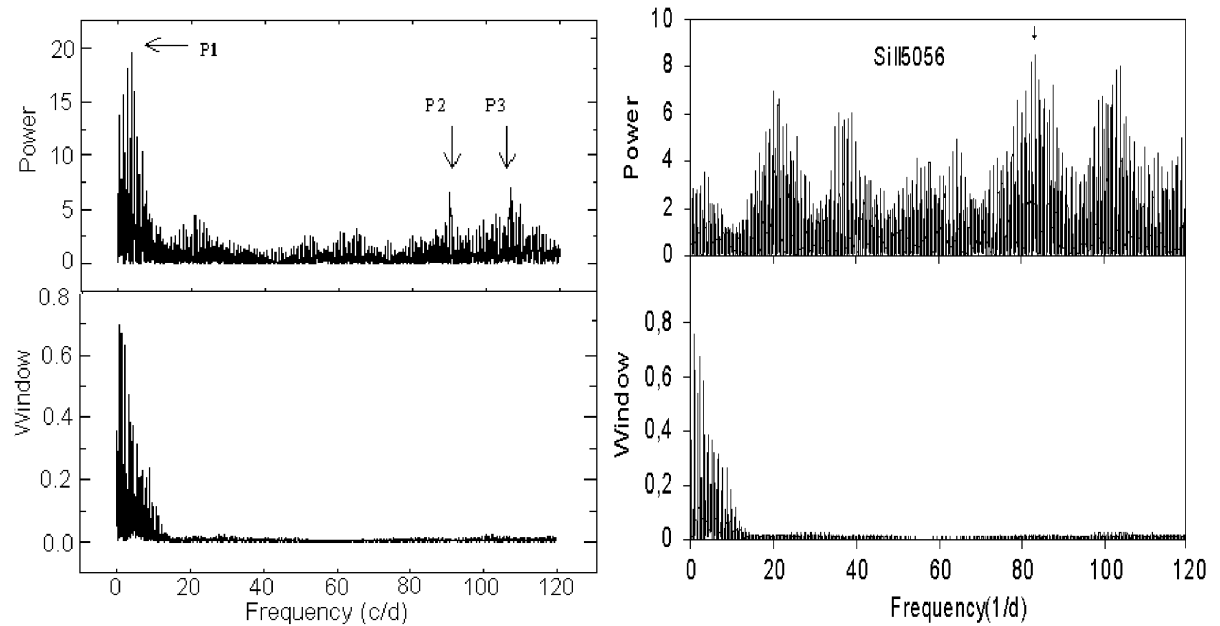


Рис.3 а, б. Спектры мощности и окна по 84 значениям лучевых скоростей для линий CrII 483.6 нм (а) и SiII 505.6 нм (б). Стрелками указано положение частот соответствующих вероятным периодам.

Таблица 2. Некоторые результаты частотного анализа спектра χ Psc

№	Кол-во точек n	Линии	Тип параметра	Интервал частот (1/d)	Пик (1/d)	Период (d)
1	84	H α	V $_r$	0 – 10	0.667	0.5853
2	84	CrII 483.6	V $_r$	0 – 10	1.79	0.5853
3	84	H α	V $_r$	0 – 4	0.6695	1.4936
4	50	MgI 516.7	V $_r$	0 – 4	1.79	0.5853
					83.333	0.0119
5	84	CrII 483.6	V $_r$	0 – 120	90	0.0111
					109.05	0.0092
6	84	MgI 517.2	W	0 – 120	104.15	0.0096
					104.19	0.0096
					77.9	0.0128
					83.30	0.0120
7	50	MgI 517.2	W	0 – 120	102	0.0098
8	84	H α	V $_r$	0 – 120	90	0.0111
9	84	H β	V $_r$	0 – 10	4.2	0.2381
10	84	FeII	W	0 – 120	103.85	0.0096
11	84	SiII 5056	V $_r$	0 – 120	83.3	0.0119
					104.1	0.0096

параметрам χ Psc. Поиск велся в основном в 3-х интервалах частот: 1) 0–120 d $^{-1}$, 2) 0–10 d $^{-1}$, 3) 0–4 d $^{-1}$, как для значений лучевых скоростей, так и для значений эквивалентных ширин спектральных линий H α , H β , CrII, FeII, MgI. Как видно из табл.3, после детального анализа, мы получили в основном 3 возможных значений периодов звезды, которые наблюдались у большинства диаграмм спектра мощности. Первая из них, наиболее мощный пик при $f_1 = 1.791$ d $^{-1}$, которая соответствует значению периода $P_1 = 0.585 \pm 0.025$ дням. Это значение, по-видимому, соответствует периоду вращения звезды и в пределах ошибок совпадает с периодами $P = 0.5853$, найденными в [24] и [12, 3]. Свертка данных по периоду P_1 показало, что наилучшее описание данных дает значение периода $P_1 = 0.5853$, определенное по работе [12].

Вторая наиболее часто наблюдаемая частота соответствует $f_2 = 83.3$ d $^{-1}$, что эквивалентна периоду $P_2 = 0.0119 \pm 0.0008$ дней (17.28 мин). Это значение периода иногда трудно обнаруживается для полного массива, но в то же время, она уверенно наблюдается у спектров мощностей по отдельным небольшим сериям. О существовании такого значения периода предварительно нами сообщалось в [1].

Поиск в интервале частот 0–120 d $^{-1}$ показал, что с определенной достоверностью обнаруживается также пик в частоте $f_3 = 104.1$ d $^{-1}$, который соответствует периоду $P_3 = 0.0096 \pm 0.0006$ дней (13.8 мин.). Однако, это значение периода не дала удовлетворительную картину при свертке массива по фазам. Возможно, при более высоком временном разрешении удастся уверенно наблюдать это значение периода пульсации.

На рис.3аб для примера приведены диаграммы спектра мощности и окна в интервале частот 0–120 и 0–10 d $^{-1}$, для лучевых скоростей линий CrII λ 483.6 нм и SiII 505.6 нм. Как видно из первой части рисунка, у линии CrII 483.6 нм все 3 вышесказанные частоты наблюдаются достаточно уверенно для данного интервала частот. По спектру мощности линии SiII 505.6 нм видны частоты 83.3 и ~ 104 d $^{-1}$, соответствующие вероятным периодам 0.012 и 0.09 дня. Нами не обнаруживается какое-либо стабильное значение периода $P = 1.412$ дней, найденная в работах [15, 16] около частоты $f = 0.6$ d $^{-1}$, хотя изредка мы обнаруживали присутствие пика в этой частоте по отдельным параметрам (табл.2).

На рис.4 приведено изменение относительных значений эквивалентных $W_i/W_{\text{ср}}$ ширин линий H α и H β по отдельным спектрограммам, полученным за все время наблюдений. Среднее значение $W_{\text{ср}}$ вычислено усреднением эквивалентных ширин внутри отдельных серий (см. табл.1). Как видим из этого рисунка, в целом, наблюдается синхронная осцилляция относительных эквивалентных ширин от спектра к спектру, хотя, в некоторые моменты наблюдается и асинхронность изменений этого параметра для водородных линий. Существует абсолютное минимальное значение относительной эквивалентной ширины обеих линий водорода, в спектре с номером 34, которое получено в JD 2451076.3889. Эту дату мы в дальнейшем фиксируем как начальную эпоху для вычисления фаз.

На рис.5 для примера приводится зависимость лучевых скоростей от фазы периода $P_2 = 0.^d0119$ (далее P_2) для спектральных линий SiII $\lambda 505.6$, CrII $\lambda 484.8$, MgI $\lambda 517.2$, TiII $\lambda 457.1$ нм.

На рис.6 также для примера приведена зависимость значений относительных эквивалентных ширин спектральных линий SiII $\lambda 505.6$, CrII $\lambda 455.8$, TiII $\lambda 446.8$ нм, и отношение линий FeI $\lambda 516.0/516.9$ нм от фазы периода $P = 0.^d0119$. Заметим, что максимумы значений лучевых скоростей соответствуют минимумам значений относительных интенсивностей. Наблюдения показывают иногда некоторое (в среднем около 4 минут) отставание или опережение экстремальных значений как по эквивалентным ширинам, так и по лучевым скоростям отдельных линий. Возможно, поэтому, на рис.5 и 6 мы наблюдаем значительный разброс спектральных параметров в одной и той же фазе. Как видно из рис.5, 6, в целом достаточно уверенно наблюдается периодическое изменение спектральных параметров по указанным линиям. Однако, так же, как и в случае эквивалентных ширин, невозможно получить приемлемую картину периодичности для всех значений наблюдаемого массива. Это свидетельствует о том, что кратковременный период уверенно наблюдается только за небольшой интервал времени. В данном случае это составило около 4 суток, в каждом году наблюдений 1998 и 1999 гг. При этом, значение периода, по-видимому, остается постоянным, и мы наблюдаем просто разные начальные этапы процесса осцилляции. Напомним, что в [1] нами показано о затухании до полного исчезновения или усилении амплитуды этих осцилляционных колебаний в течение 2–3 часа.

На рис.7а приведена средняя кривая гелиоцентрических лучевых скоростей по всему массиву значений лучевых скоростей по всем измеренным спектральным линиям. Усреднение произведено по фазам. Сюда входит всего 17 измеренных спектральных линий элементов FeI, FeII, CrII, SiII, MgI, MgII, TiII, в том числе H_α и H_β , у которых по 84 спектрограмм стабильно возможно измерить параметра V_r .

Как видно из рис.7а, несмотря на значительный разброс значений V_r от средней кривой (в среднем до ± 6 км/с), общая картина позволяет четко выделить периодическую составляющую значений лучевых скоростей. Максимальная амплитуда переменности V_r значений по средней кривой полинома 6 степени составляет 3 ± 0.5 км/с, в то время как по отдельным линиям максимальная амплитуда достигает 40 км/с.

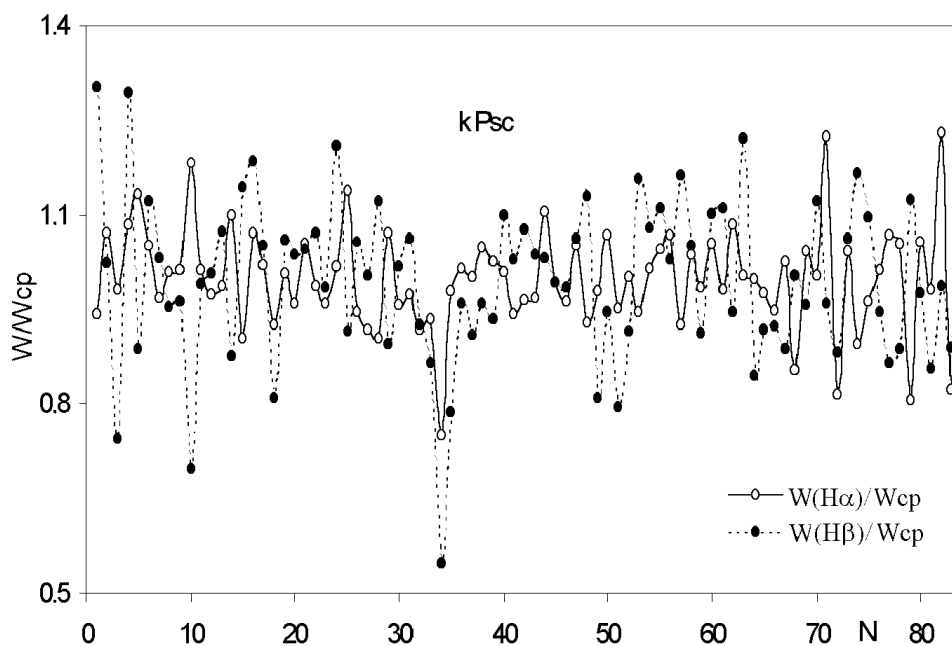


Рис.4. Изменение относительной эквивалентной ширины линий водорода по всем 84 спектрограммам (значения N — номер спектров внутри серии (см. табл.1) для χ Psc. График позволяет следить общий интервал переменности параметра $W_\lambda(H)/W_{cp}$ для линий H_α и H_β . Здесь W_{cp} — среднее по серии значение эквивалентной ширины.

На рис.76 приведена фазовая кривая магнитного поля по данным [10], свернутая по периоду $P_2 = 0.0119$ дня. Как видно, наблюдается удовлетворительная картина периодичности изменений магнитного поля звезды этим периодом. Этот график можно сопоставить с графиком, приведенным на рис.7а, где приводятся значения лучевых скоростей, свернутые с периодом P_2 . Как видим, наблюдается синхронное изменение по фазе лучевых скоростей. Несмотря на то, что данные магнитного поля Борра и Ландстрита [10] выполнены в разных условиях, результаты показывают хорошее согласие по фазе с нашими данными, что свидетельствует о реальности наблюдаемого периодического процесса.

Для определения скорости вращения нами использовано значение полуширины линии $\text{MgII } \lambda 4481 \text{ \AA}$, одновременно, для двух крайних состояний (фазы максимума и минимума значений полуширин) по периоду осевого вращения. В табл.3 приведены результаты определений $v \sin i$ и экваториальной скорости вращения звезды. При этом, для радиуса звезды мы также брали два крайне допустимых $2.6R$ и $3R$ т.к. в литературе разные авторы дают разные оценки радиуса звезды.

Для проекции скорости вращения звезды нами было получено 38 ± 2 км/с. Это значение периода согласуется с данными [23]. По крайним значениям радиусов, экваториальная скорость вращения определяется как 245 ± 15 км/с. Тогда для угла i мы находим, $i = 9^\circ \pm 1^\circ$.

Очевидно, что для объяснения быстрых осцилляций спектров Ар звезд нужно искать процессы, имеющие большие скорости, чем скорости вращения звезд. Заметим, что наблюдаемые нами скорости имеют близкие значения со звуковыми скоростями на периферии звезд. Например, на периферии звезд скорость звука имеет порядки 10–30 км/с [5]. Кроме того, для выявления наблюдаемого масштаба осцилляций, скорее, нужно ожидать синхронизацию определенных колебательных процессов в атмосфере звезды.

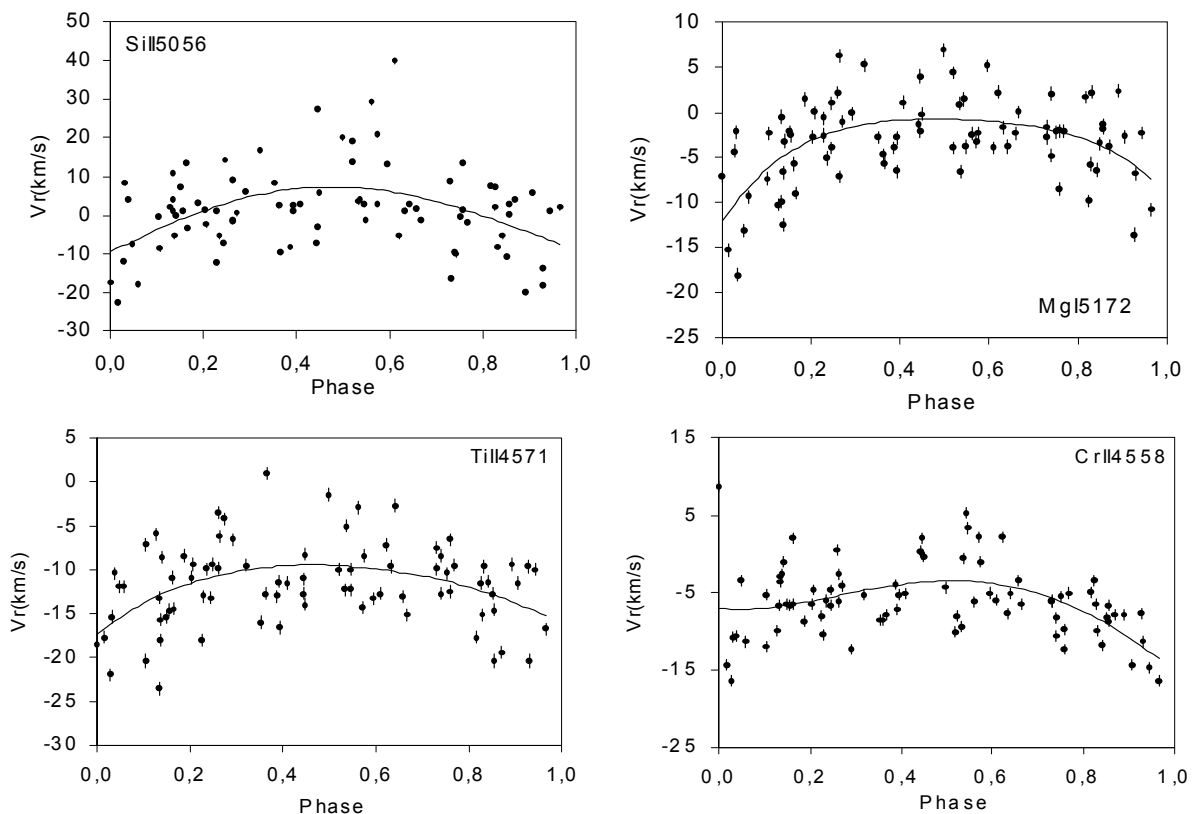


Рис.5. Кривые лучевых скоростей по отдельным спектральным линиям для χ Psc по фазам периода пульсации P_2 .

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВООДЫ

Итак, результаты анализа спектральных наблюдений χ Psc показывают, что существует быстрая спектральная переменность с периодами P_1 , P_2 и возможно, P_3 (см. табл.2).

Приняв отношения экстремальных значений магнитного поля звезды согласно данным [10, 11] как 1:2, зная угол $i = 9^\circ \pm 1^\circ$, можно оценить угол наклона магнитной оси звезды к оси вращения β . Действительно, написав выражение для эффективного значения H_{e+} и H_{e-} разных полюсов магнитного поля согласно [6],

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1-r}{1+r} \operatorname{ctg} i$$

где r – отношение эффективных значений магнитных полей, $r = H_{e+}/H_{e-}$. Это отношение для χ Psc равна 1:2. и тогда угол $\beta = 63^\circ \pm 1^\circ$. Следовательно, угол наклона магнитной оси от экватора будет равен $\varphi = 90^\circ - \beta = 27^\circ \pm 1^\circ$. Таким образом, это широта звезды, в котором наблюдается максимальное значение напряженности магнитного поля.

Далее, зная угол β можно оценить полное значение магнитного поля звезды, что соответствует 1468 ± 200 Гс. При этом принимается, что полярные абсолютные значения магнитного поля H_{p+} и H_{p-} равны между собой, а коэффициент потемнения к краю был взят 0.45.

Средние лучевые скорости, полученные в результате осевого вращения звезды по разным линиям, свидетельствуют о том (рис.5а), что в определенной мере практически все линии показывают колебание V_r . Однако, лучевые скорости по линиям могут отличаться как по амплитуде, так и форме кривой лучевых скоростей.

По результатам измерений магнитного поля по данным [10], мы показали, что магнитное поле звез-

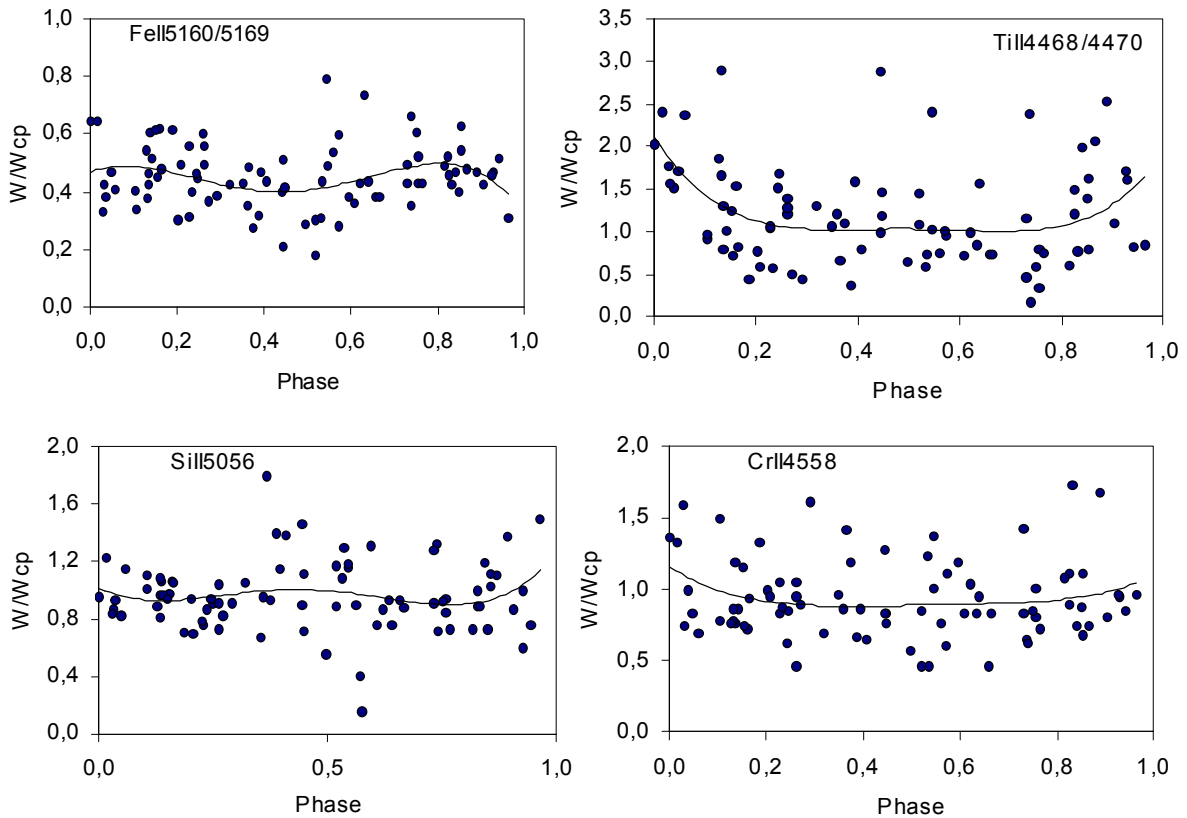


Рис.6. Зависимость относительной эквивалентной ширины спектральных линий для χ Psc свернутые по фазам периода пульсации P_2 для отдельных спектральных линий

ды меняется синхронно с лучевыми скоростями пекулярных линий. Обнаруженное явление по разным наблюдениям выполненные в разное время показывает достаточное постоянство местонахождения локального магнитного поля и активных областей на поверхности звезды. Кроме того, это свидетельствует о наличии прямой связи между пекулярными свойствами звезды, с наблюдаемым магнитным полем на ее поверхности.

Определенный интерес вызывает фазовая кривая магнитного поля по обоим периодам P_1 и P_2 [2]. Период осевого вращения P_1 , по идее, должен описать изменение магнитного поля с вращением, что в целом наблюдается. Хотя количество измерений напряженности магнитного поля мала, уверенно можно сказать о периодическом изменении ее и с периодом пульсации P_2 . Этот наблюдательный факт показывает, что, по-видимому, первопричиной процессов пульсации также является магнитное поле, хотя полное понимание этого процесса наталкиваются на трудности.

В заключении приведем основные выводы, полученные в этой работе:

1. Подтвержден ранее полученный в [1] результат о наличии кратковременного периода осцилляции спектральных параметров χ Psc. С помощью частотного анализа уточнено значение этого периода $P_2 = 0.0119 \pm 0.0008$ (17 мин) дней. Заподозрено наличие периода пульсации $P_3 = 0.0096 \pm 0.0006$

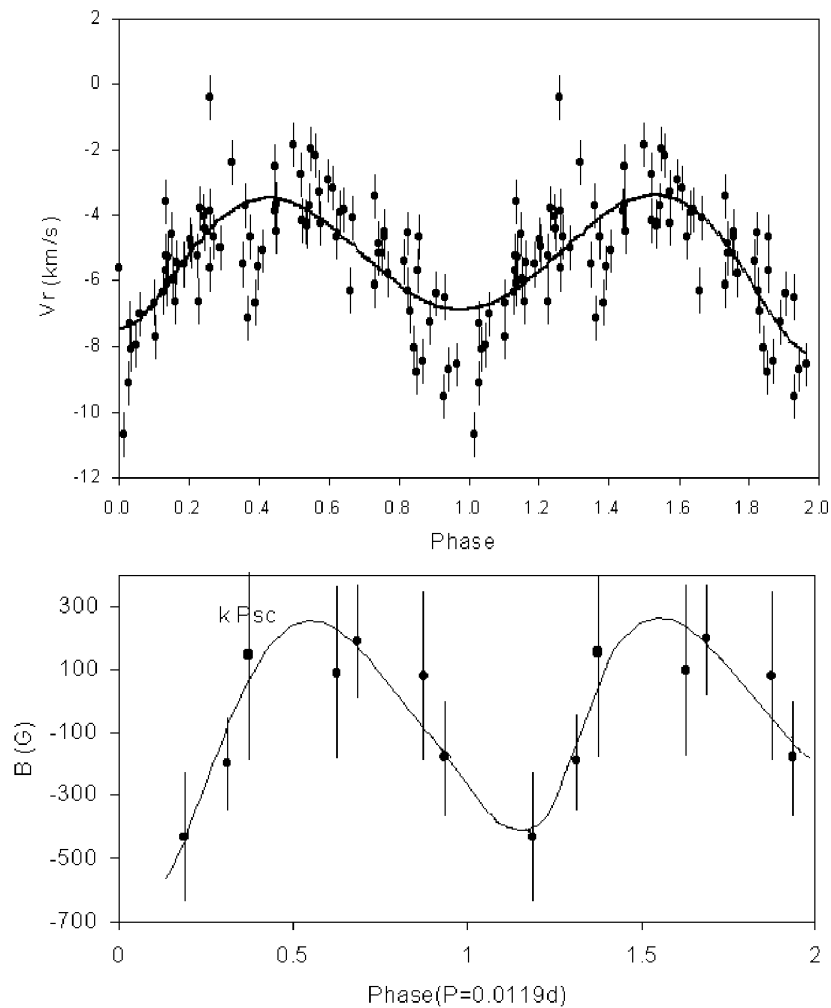


Рис.7 а,б. Средняя по фазам кривая лучевых скоростей по пульсационному периоду P_2 (а) и зависимость магнитного поля звезды χ Psc свернутая с фазами пульсационного периода P_2 (б). Данные магнитного поля взяты из работы [10]. Кривая проведена полиномом 6 степени.

(13 мин).

2. По результатам последних спектральных наблюдений обнаружено значение периода $P_1 = 0.585 \pm 0.025$ дней, которое совпадает с ранее полученным фотометрическим [12] и спектральным [3] периодом звезды и, по-видимому, является периодом ее осевого вращения.
3. Средние лучевые скорости и эквивалентные ширины спектральных линий в разной степени меняются с фазой как по периоду P_1 , так и по P_2 . Средние значения лучевых скоростей меняются с фазой разными амплитудами у разных линий. Наибольшие амплитуды наблюдаются у пекулярных линий. Это показывает, что пульсация возникает в результате физических процессов, которые способны давать определенный переменный вклад ко всему излучению атмосферы звезды.
4. По скорости вращения звезды оценены наклон осевого вращения к лучу зрения $i = 9^\circ \pm 1^\circ$ и угол наклона магнитной оси звезды к лучу зрения, равный $\beta = 63^\circ \pm 1^\circ$. Оценено максимальное значение магнитного поля звезды, равной около 1468 ± 200 Гс.
5. Магнитное поле звезды также меняется с фазой с периодом P_2 . Впервые показано, что магнитное поле звезды синхронно меняется с лучевыми скоростями пекулярных линий CrII и SiII, и в меньшей степени др. линиями. Это свидетельствует о прямой связи магнитного поля звезды с ее пекулярными свойствами. Разные независимые физические параметры (спектр и магнитное поле звезды), полученные в разное время, разными авторами, показывает синхронное изменение спектра и магнитного поля.

Автор выражает искреннюю благодарность сотруднику отдела звездной астрофизики ГАИШ Антохину И. за любезно предоставленную программу для проведения частотного анализа и его ценные советы при выполнении этой части работы.

1. Алиев С.Г., Исмаилов Н.З., Астрон. ж. – 2000. – 77. – С.1.
2. Алиев С.А., Исмаилов Н.З., Доклады АН Азербайджана. – 2001. – 7. – С.205.
3. Алиев С.Г. Магнитные Ар звезды / ред.И.А.Асланов. – Баку, 1975. – С.80.
4. Боярчук А.А., Копылов И.М., Изв. Крым. Астрофиз. обс. – 1964. – 31. – С.44.
5. Северный А.Б. Некоторые проблемы физики Солнца. – М: Наука, 1988. – 102 с.
6. Хохлова В.Л., Итоги науки и техники ВИНТИ, сер. Астрономия. – 1983. – 24. – С.233.
7. Antokhin I., Bertrand J.-F., Lamontagne R., Moffat A.F.J., Astron.J. – 1995. – 109. – P.80.
8. Balmforth N.J., Gough D.O., Solar Physics. – 1990. – 128. – P.161.
9. Blanco C., Catalano F., Godoli G., in Non-Periodic Phenomena in Variable Stars, IV Coll.on Var.Stars, ed.L.Detre, Academic Press, Budapest. – 1969. – P.243.
10. Borra F.F., Landstreet J.D., Astrophys.J.Suppl.Ser. – 198. – 42. – P.421.
11. Didelon P., Astron.Astrophys.Suppl.Ser. – 1983. – 53. – P.421.
12. Genderen A.M., Astron.Astrophys.Suppl.Ser. – 1971. – 14. – P.48.
13. Horne J.H., Balinas S.L., Astrophys.J. – 1986. – 302. – P.757.
14. Kanaan A., Hatzes A.P., Astrophys.J. – 1998. – 503. – P.848.
15. Kerschbaum F., Maitzen H.M., Astron.Astrophys. – 1989. – 246. – P.346.
16. Kreidl T.J., Schneider H., Inf.Bull.Var.Stars. – 1989. – №3282.
17. Kurtz D.W., Ann.Roy.Astron.Astrophys. – 1990. – 28. – P.607.
18. Kurtz D.W., Inf.Bull.Var.Stars. – 1978. – №1436.
19. Kurtz D.W., Mon.Notic.Roy.Astron.Soc. – 1982. – 200. – P.807.
20. Matthews J., Publ.Astro.Soc.Pacif. – 1992. – 103. – P.5.
21. Percy J.R., Astron.Astrophys. – 1973. – 22. – P.381.
22. Preston G.W. / In Stellar Rotation, ed.A.Slettebak. – 1970. – P.254.
23. Pyper D.M., Adelman S.J., Astro.Astrophys.Suppl.Ser. – 1983. – 51. – P.365.
24. Rakos K.D., Lowell Obs.Bull. – 1962. – 5. – P.227.
25. Scargle J.D., Astrophys.J. – 1982. – 263. – P.835.
26. Shibahashi H., Saio H., Publ.Astron.Soc.Japan. – 1985. – 37. – P.245.
27. Shibahashi H. Lecture Notes in Physics Nr.274, Springer, Berlin, 198. – P.112.
28. Vauclair S., Dolez N., Lecture notes in Physics 1990. Springer. Berlin. № 367, P.399.
29. Weiss W.W., In Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundances // Proc. IAU Coll. 90. Cowley et. al. eds., D. Reidl. Publ.Co., 1986. P.219.
30. Wood H.J., Astrophys.J. – 1968. – 152. – P.117.

Поступила в редакцию 8.10.2001