

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СЛАБОМАГНИТНОЙ ЗВЕЗДЫ HD220825 - κ PscЮ.В. ГЛАГОЛЕВСКИЙ¹, И.Х. ИЛИЕВ², И.К. СТАТЕВА²,
Г.А. ЧУНТОНОВ¹

Поступила 20 июня 2006

Принята к печати 20 сентября 2006

По программе исследования химсостава CP-звезд со слабым магнитным полем изучена звезда HD220825. Показано, что она обладает магнитным полем $B_e < 100$ Гс. Химсостав, как оказалось, в среднем соответствует CP-звездам с большим магнитным полем. На основании результата этой работы и других данных сделан вывод, что магнитное поле слабо влияет на степень аномальности химсостава, хотя его влияние несомненно. Скорость вращения звезды равна 37.5 км/с, что существенно меньше, чем у нормальных звезд той же температуры. Слабость магнитного поля создает трудности гипотезе потери момента вращения с участием магнитного поля.

1. *Введение.* Ставится задача спектроскопического исследования избранных слабо намагниченных звезд путем сравнения с сильно намагниченными CP-звездами. Предполагается получить и сравнить физические и химические свойства таких звезд для выяснения роли магнитного поля в формировании основных свойств [1], особенностей эволюции и роли магнитного поля в потере момента вращения. Важно также выяснить детали перехода основных свойств от магнитных к нормальным звездам.

Измерение магнитного поля у слабо намагниченных CP-звезд является важнейшей проблемой. До сих пор редко удавалось измерять поле меньше 200 Гс и область 0-200 Гс оказалась совершенно не исследованной. До настоящего времени изучались магнитные звезды только с сильными полями, а это обстоятельство значительно искажает результаты статистических исследований. Поэтому одна из основных задач заключается в детальном исследовании магнитных полей, химсостава и других свойств слабо намагниченных CP-звезд. Точность измерений магнитного поля предполагается повысить за счет увеличения времени накопления и использования нового способа измерений, при котором получается два зеemanовских спектра при повороте фазового элемента на 0° и 90° [2]. В этом случае "прямой" и "обратный" спектры располагаются на тех же пикселах, поэтому исключается отрицательное влияние неравномерности чувствительности пикселов. Накопленный опыт показывает, что предел

обнаружения магнитных звезд можно довести в среднем до 50 Гс, вместо 200-500 Гс, существовавшего до сих пор.

Слабость магнитного поля у многих CP-звезд противоречит гипотезе потери момента вращения с участием поля. В настоящее время дискутируются две возможных причины медленного вращения [3]:

1) магнитное торможение произошло в фазах эволюции "до Главной последовательности" с участием магнитного поля,

2) реликтовое магнитное поле могло сохраниться только у медленных ротаторов, т.е. предполагается, что медленное вращение "досталось" с начала рождения звезд от протозвездных облаков.

Обе гипотезы имеют существенные трудности, в частности, не обнаружены поля порядка кГс у звезд на стадии эволюции "до Главной последовательности". А именно такие величины обычно принимались при расчетах. Другая трудность состоит в том, что слабо намагниченные звезды с полем $B < 100$ Гс имеют такие же скорости вращения, какие имеют звезды с предельно большими магнитными полями. Мало того, в соответствии с предсказанием теории степень торможения пропорциональна силе магнитного поля, однако предварительные исследования показывают, что такой зависимости нет и даже, по-видимому, наблюдается обратная зависимость [3]. Следовательно, гипотеза потери момента вращения с участием магнитного поля испытывает значительные трудности. Известно, что степень химических аномалий связана с величиной магнитного поля, но не совсем ясна роль магнитного поля у звезд со слабым полем, но сильными аномалиями. Какова степень аномальности химсостава у звезд со слабым полем, предстоит выяснить. Все эти проблемы тесно связаны между собой и могут быть решены только путем накопления достаточно большого наблюдательного материала и для звезд разных типов пекулярности. В данной работе мы исследуем физические свойства и химсостав одной из слабомагнитных звезд HD220825.

2. *Физические параметры HD220825.* Физические характеристики звезды подробно описаны в статье [4]. Звезда относится к SiCrSr типу пекулярности. Средняя величина магнитного поля B_e не определена точно. Имеется 8 измерений [5], из которых среднеквадратическое значение магнитного поля

$$\langle B_e \rangle = \left[\sum_i (B_i^2 - \sigma_i^2) / n \right]^{1/2} = 0 \pm 75 \text{ Гс.}$$

Среди этих 8 измерений нет ни одного значения, превышающего 3σ . В работе [6] тоже отмечается отсутствие заметной поляризации в спектре звезды, что указывает на величину поля заведомо меньше 100 Гс. Наши измерения магнитного поля на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа с ПЗС матрицей 2к x 2к приведены в табл.1.

Таблица 1

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ HD220825

JD 2450000+	V_e , Гс	σ , Гс
3747.12	+54	30
3748.17	-87	60
3749.082	+45	84

Измерения проведены в среднем по 50 неблендированным линиям с использованием среднего значения фактора Ланде 1.23. Отношение сигнал/шум было равно ~ 1000 , область спектра $\lambda 5573 - 5939 \text{ \AA}$, спектральное разрешение 15000. Наши измерения подтвердили результат, полученный в работе [5] и показали, что величина поля $V_e < 100 \text{ Гс}$.

В литературе есть несколько оценок температуры κ_{Psc} . Пайпер и Аделман [7] получили $T_e = 9500 - 10250 \text{ К}$ по спектрофотометрическим данным. В работе [8] дана температура $T_e = 9250 \text{ К}$, определенная методом инфракрасных потоков. Межесье [9] из фотометрических оценок получила $T_e = 9410 \text{ К}$. В работе [10] приводится значение $T_e = 9700 \text{ К}$, что близко к среднему из всех приведенных величин. В этой же работе дана величина $\log g = 4.18$. Мы использовали именно эти значения.

В работе [10] для звезды HD220825 приведены также абсолютные болометрические звездные величины M_b , полученные по гиппарховским данным $M_b(G) = 1^m.3$ и по параметру $\beta = 2.883$ $M_b(\beta) = 0^m.9$. Среднее значение примем $M_b = 1.1$. Исходя из этой величины, получаем $\log g = 4.19$, что соответствует положению звезды на Главной последовательности между ZAMS и V классом светимости. В работе [11] тоже показано, что на диаграмме $R \sin i / R_\odot - T_e \text{ К}$ она находится среди звезд вблизи ZAMS. На основании T_e и M_b по известной формуле

$$\log R / R_\odot = 8.46 - 2 \log T_e - 0.2 M_b$$

получаем радиус звезды $R = 1.86 R_\odot$. В работе [4] приводится такое же значение.

Звезда HD220825 вращается существенно медленнее нормальных звезд Главной последовательности, что типично для химически пекулярных

Таблица 2

ИЗМЕРЕННЫЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

$v \sin i$, км/с	Источник
33	[12]
30	[13]
39	[14]
35	[15]
38	[4]

звезд. В табл.2 приведено несколько последних оценок $v \sin i$, опубликованных в литературе. Среднее значение $v \sin i = 35 \pm 2$ км/с. В каталоге [16] приведено значение 40 км/с, выведенное из пяти определений. Среднее взвешенное в таком случае будет равно 37.5 км/с. Так как экваториальная скорость вращения $v = 50.6 R/P = 65$ км/с, то из $v \sin i$ получаем угол наклона звезды к лучу зрения $i = 34^\circ$, что совпадает с данными в работе [4].

Последние оценки периода вращения получены в работах [11] $P = 1.412 \pm 0.001$ и [17] $P = 1.4200 \pm 0.0005$. В работе [4] приводится уточненное значение периода $P = 1^d.418$. При угле наклона $i = 34^\circ$ должна быть заметна спектральная переменность звезды вследствие обычной для таких звезд концентрации одних химических элементов в магнитных полюсах, а других - на магнитном экваторе. Поэтому наличие фотометрической переменности может указывать на присутствие магнитного поля. Действительно, в работе [11] показано, что амплитуда фотометрической переменности в цвете V равна $0^m.015$, а в $U - 0^m.035$, что типично для магнитных CP-звезд с магнитным полем. В работе [4] показано, что химические элементы действительно неравномерно распределены по поверхности в соответствии с предполагаемой структурой магнитного поля. Таким образом, отрицательный результат непосредственного определения магнитного поля указывает на его слабость.

3. *Наблюдения.* Для изучения химсостава HD220825 два спектра получены на 6-м телескопе с CCD камерой "Uppsala" с 2050 x 2050 пикселями ($13 \mu\text{m}$) на эшелъном спектрографе НЭС [18] с разрешением 45000 и отношением С/Ш около 600. Кроме того были получены три спектра на 2-м телескопе с CCD камерой Photometrics AT200 SITE SI003AB ($24 \mu\text{m}$) с 1024 x 1024 пикселями. Типичное разрешение 32000 и отношение С/Ш порядка 300 на 3 камере Куде спектрографа. Журнал наблюдений приведен в табл.3 и 4.

Участки эшелъных спектров выбирались так, чтобы было больше

Таблица 3

ИЗМЕРЕННЫЕ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Дата	JD= 2450000+	Фаза	Телескоп	Область спектра, Å
12.01.2004	3017.127	0.40	6-м	4435-4495 5115-5205 5220-5290 5300-5350
22.08.2005	3605.376	0.24	6-м	4435-4495 5115-5205 5220-5290 5300-5350
18.05.2005	3508.5926	0.99	2-м	6400-6500
23.07.2005	3575.5374	0.20	2-м	6400-6500
18.08.2005	3601.4791	0.49	2-м	6400-6500

спектральных линий с надежными атомными данными (табл.2). Моменты наблюдений приведены в табл.3. Фазы вычислены по эфемериде из работы [4]

$$JD\ 2441248.578 + 1^d.418.$$

Спектры достаточно равномерно распределены по фазам, поэтому можно считать, что полученные результаты соответствуют средним значениям по поверхности.

Обработка спектров проводилась с помощью пакета программ IRAF. Использовались стандартные IRAF процедуры вычитания фона матрицы, нормирования плоского поля и калибровки по длинам волн. Теллурические линии были устранены с использованием горячих быстро вращающихся звезд. Ошибка калибровки по длинам волн не превышает среднестатистической ошибки более чем на $0.005\ \text{\AA}$.

Расчет синтетического спектра проведен по программе SYNSPEC [19,20]. Модели атмосфер взяты из [21]. Список линий с атомными параметрами был взят из Венской базы атомных данных VALD [22]. Для уточнения некоторых параметров они были усреднены с данными из [23].

Для определения микротурбулентной скорости использовались сильные и слабые линии железа. Оказалось, что она равна $v_t = 2.3\ \text{км/с}$.

Полученные значения химсостава $\log(X/H)$ в разные ночи приведены в табл.4. Там же даны величины $\log(X/H) - \log(X_{\odot}/H)$, показывающие избыток элемента по отношению к солнечному содержанию, взятому из работы [24]. Хорошо видно, что все рассмотренные химические элементы, кроме He, Ca и O имеют аномально большое содержание. В предпоследнем столбце таблицы приведены средние значения содержаний, а в последнем столбце (CP-звезды) дано среднее значение $\log(X/H)$ и $\log(X/H) - \log(X_{\odot}/H)$ для 4 типичных CP-звезд с сильным магнитным полем: HD110066, 188041, 116458, 112413 из работ [25-27], со средней температурой $T_e = 9850\ \text{К}$ и средним поверхностным магнитным полем $B_s = 3800\ \text{Гс}$. Из сравнения данных двух последних столбцов хорошо видно, что химсостав слабо намагниченной звезды HD220825 практически не отличается от химсостава типичных магнитных звезд.

В работе [28] мы исследовали химсостав другой слабо намагниченной звезды HD10221 и нашли, что она имеет сильный избыток Si, Cr, Fe, Sr и редкоземельных элементов, причем их избыток несколько больше, чем у другой слабо намагниченной звезды HD43819, имеющей по нашим измерениям магнитное поле $B_e = 25 \pm 130\ \text{Гс}$. Таким образом, уже из приведенных данных мы видим, что примерно одинаковая аномальность химсостава CP-звезд может встречаться как у сильно, так и у слабо намагниченных CP-звезд.

Микротурбулентная скорость, как было сказано выше, получилась равной $v_t = 2.3\ \text{км/с}$, она немного отличается от принятого значения

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ:
 $\log(X/H)$ И $\log(X/H) - \log(X_{\odot}/H)$

Элемент	12.01.2004	22.08.2005	18.05.2005	23.07.2005	18.08.2005	Среднее	СР-звезды
FeII	-4.02±0.02 +0.48	-4.10 +0.40	-3.68 +0.82	-3.73 +0.77	-3.70 +0.80	-3.85 +0.65	-3.59 +0.91
FeI	-3.82±0.22 +0.68	-3.52 +0.98	-3.83 +0.66	-3.92 +0.58	-3.95 +0.54	-3.81 +0.69	-3.59 +0.91
CrII	-4.92±0.03 +1.41	-4.73 +1.60	-3.89 +2.44	-4.0 +2.33	-4.0 +2.33	-4.31 +2.02	-4.26 +2.04
CaI	-5.89 -0.25	-6.52 -0.88		-5.52 +0.11		-5.98 -0.75	-4.26 +1.38
SiI				-3.7 +0.75		-3.7 +0.75	-4.17 +0.28
OI				-3.33 -0.15		-3.33 -0.15	-3.87: -0.70
HeI	<-2.0 -0.95					-2.0: -0.95	-3: -2
MgII	-4.10 +0.32					-4.10 +0.32	-4.82 +0.40
ScII	-7.07 +1.76	-6.82 +2.01				-7.07 +1.76	-8.53 +0.30
TiII	-6.30 +0.68	-6.30 +0.68				-6.30 +0.68	-6.15 +0.83
MnII	-5.43 +1.18	-5.10 +1.51				-5.43 +1.34	-5.75 +0.86

в работе [4] $v_r = 0$ км/с. Наше ускорение силы тяжести $\log g = 4.27$, тоже немного отличается от $\log g = 3.75$ [4]. Принятое значение эффективной температуры $T_e = 9700$ К, несколько отличается от использованного в работе [4] значения $T_e = 9250$ К, что и является, по-видимому, основной причиной различий.

4. *Дополнительные данные.* Дополнительно к сказанному выше мы сравнили химсостав нескольких слабо намагниченных звезд с $Be < 100$ Гс с нормальными и сильно намагниченными звездами с той же температурой по данным, взятым из литературы (табл.5). В таблице для них указано среднее поверхностное поле B_s . Содержания $\log(N/N_{\odot})$ взяты из работ [4] и [28]. В первой колонке таблицы дано название звезды и ее температура. Во второй колонке указано магнитное поле Be или B_s , а также источник его определения. Величина ΔN это $\log(N/N_{\odot})$ для нормальных звезд минус $\log(N/N_{\odot})$ для слабо или сильно намагниченных СР-звезд.

Средний химсостав для нормальных звезд получен из 5 звезд из

Таблица 5

СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ СЛАБО НАМАГНИЧЕННЫХ ЗВЕЗД С
НОРМАЛЬНЫМИ И СИЛЬНО НАМАГНИЧЕННЫМИ ЗВЕЗДАМИ

Звезда	B_e , Гс	Si ΔN	Ca ΔN	Cr ΔN	Fe ΔN
Норм. (5) 9500 К	0	-4.52	-5.78	-6.26	-4.50
HD10221 11900 К	<100 [1]	-3.36 1.16	- -	-4.43 1.83	-3.36 1.14
HD170973 10750 К	<100 [2,3]	-3.82 0.70	-4.91 0.87	-4.80 1.46	-3.50 1.00
HD204411 8400 К	<100 [8]	-4.13 0.39	-5.17 0.61	-4.80 1.46	-4.04 0.46
HD40312 10450 К	<100 [4-7]	-3.47 1.05	- -	-3.90 2.36	-3.35 1.15
HD43819	<100 [8]	-3.88 0.64	-5.12 0.66	-5.02 1.24	-3.57 0.93
HD108945 8800 К	<100 [4]	-4.53 -0.01	-6.50 -0.72	-4.80 1.46	-4.00 0.50
CP (4) 9850 К	Среднее $B_s = 3800$	-3.90 0.62	-4.94 0.84	-4.37 1.89	-3.55 0.95

Пояснение к таблице

Магнитное поле взято из работ:

1. Ю.В.Глазалецкий, Т.А.Рябикова, Г.А.Чутонов, Письма в Астрон. ж., 31, 363, 2005.
2. G.Mathys, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 89, 121, 1991.
3. D.A.Bohlender, J.D.Landstreet, I.B.Thompson, Astron. Astrophys., 269, 355, 1993.
4. E.F.Borra, J.D.Landstreet, Astrophys. J. Suppl. Ser., 42, 421, 1980.
5. E.F.Borra, J.D.Landstreet, Astrophys. J., 228, 809, 1979.
6. J.D.Landstreet, E.F.Borra, Astrophys. J., 212, L43, 1977.
7. G.A.Wade, J.-F.Donati, J.D.Landstreet, S.L.S.Shorlin, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 313, 851, 2000.
8. Наши измерения.

работы [29], имеющих в среднем $T_e = 9500$ К. Средний химсостав для CP-звезд с сильным полем получен по 4 звездам HD188041, 110066, 116458, 112413 из той же работы со средней температурой 9850 К и средним поверхностным полем $B_s = 3800$ Гс. Из таблицы видно, что различий между слабо намагниченными и сильно намагниченными звездами нет. Различие между нормальными и CP-звездами большое. Аномалия Si у слабо намагниченной звезды HD10221 в 3.5 раза больше, чем у сильно намагниченных звезд. Из приведенных в этом разделе данных также можно сделать вывод: величина поля не является определяющим фактором в создании условий для диффузии химических элементов. Разброс точек на зависимостях степени аномальности химсостава от магнитного поля, как показано в [30], очень большой. В этой же работе показано, что

тенденция усиления аномальности от магнитного поля статистически выявляется только до величины $B_s \sim 4 - 5$ кГс. С другой стороны, надо иметь в виду, что мы отбираем звезды для анализа по признаку пекулярности химсостава, который всегда будет максимальным вследствие фактора селекции. Мало вероятно, что в список пекулярных звезд могут быть внесены объекты со слабой пекулярностью. Это обстоятельство затрудняет исследование вблизи нижней границы значения магнитного поля, при которой химические аномалии исчезают, если такое существует. Фактор селекции искажает зависимость степени аномальности химсостава от величины поля в области его малых значений. Известно, что магнитное поле приводит к неравномерности распределения химических элементов по поверхности, но какое минимальное поле необходимо для этого? Из результатов исследования HD10221 [4] видно, что даже при поле в несколько десятков Гс химические элементы концентрируются под влиянием поля так же, как и в случае сильного поля.

5. *Заключение.* Как видно из этой работы, магнитное поле не строго влияет на степень аномальности химсостава, хотя известно, что оно влияет на распределение элементов по поверхности. Статистически зависимость ее от поля можно заметить [30], но разброс точек большой и только усреднение методом скользящего среднего показывает, что она существует. Различие химсостава отдельных CP-звезд в первую очередь вероятно зависит от особенностей химсостава протозвездных облаков, силы ветра, величины микротурбуленции. Изучить зависимость химсостава от поля в области слабых полей трудно вследствие наблюдательной селекции. К CP-звездам относят обычно только те объекты, которые имеют относительно сильные химические аномалии, если учесть методику отбора. Поэтому на рассматриваемой зависимости имеется дефицит слабо пекулярных объектов по отношению к сильно пекулярным объектам, и зависимость, очевидно, искажена в пользу сильно пекулярных звезд. Так мы пытаемся объяснить сильные химические аномалии у звезд со слабым полем.

Как видно из оценок скорости вращения звезды (37.5 км/с) она существенно меньше, чем у нормальных звезд той же температуры (120 км/с).

Этот факт противоречит гипотезе потери момента вращения CP-звезд под влиянием магнитного поля.

Часть работы была сделана при помощи Болгарского Фонда научных исследований, грант F-1403/2004.

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: glagol@sao.ru

² Институт астрономии с НАО-Рожен Болгарской Академии наук

SPECTROSCOPIC INVESTIGATION OF THE WEAK
MAGNETIC STAR HD220825 - κ PscYu.V.GLAGOLEVSKIJ¹, I.Kh.ILIEV², I.K.STATEVA²,
G.A.CHOUNTONOV¹

According to the program of research for the chemical abundance of CP stars with a weak magnetic field, the star HD220825 was investigated. It is shown, that it has a magnetic field $B_e < 100$ G. The chemical abundance, as appeared, on the average corresponds to CH stars with strong magnetic fields. On the basis of the results of this work and other data the conclusion is made that the magnetic field has a weak influence on the degree of anomaly of chemical abundance though this influence is doubtless. The weakness of the magnetic field creates difficulties for the hypothesis of braking with the participation of magnetic field.

Key words: *stars: magnetic fields - individual: HD220825*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.В.Глаголевский, Г.А.Чунтонов, *Астрофизика*, **45**, 49, 2002.
2. Г.А.Чунтонов, *Отчет САО РАН за 1997 г.*, с.36.
3. Ю.В.Глаголевский, *Астрофизика*, **48**, 229, 2005.
4. Т.А.Рябчикова, В.М.Павлова, Е.С.Давыдова, Н.Е.Пискунов, *Письма в Астрон. ж.*, **22**, 917, 1996.
5. E.F.Borra, J.D.Landstreet, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **42**, 421, 1980.
6. L.-L.Leroy, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **114**, 79, 1995.
7. D.M.Pyper, S.J.Adelman, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **51**, 365, 1983.
8. M.J.Shallis, J.E.F.Baruch, A.J.Booth, M.J.Selby, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **213**, 307, 1985.
9. C.Megessier, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **72**, 551, 1988.
10. Yu.V.Gлаголевский, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **53**, 33, 2002.
11. F.Kerschbaum, H.M.Maitzen, *Astron. Astrophys.*, **246**, 346, 1991.
12. G.W.Preston, in *Stellar rotation*, ed. A.Sletteback, Dordrecht Reidel, 1970, p.254.
13. H.A.Abt, N.I.Morrell, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **99**, 135, 1995.
14. F.Royer, S.Grenier, M.-O.Baylac, A.F.Gomez, J.Zorec, *Astron. Astrophys.*, **393**, 897, 2002.
15. В.Г.Ключкова, И.М.Копылов, *Астрон. ж.*, **62**, 947, 1985.
16. A.Uesugi, I.Fukuda, *Revised Catalogue of Stellar Rotational Velocities*, Kyoto, 1982.

17. T.J.Kreidl, H.Schneider, Inf. Bull. Var. Stars, №3282, 1989.
18. V.E.Panchuk, I.I.Romanyuk, D.O.Kudryavtsev, in Magnetic Fields of Chemical Peculiar and Related Stars, Eds. Yu.V.Glagolevskij, I.I.Romanyuk, Moskow, 2000, p.75.
19. I.Hubeny, T.Lanz, C.S.Jeffrey, in Newsletter on Analysis of Astronomical spectra, №20, eds. Jeffrey C.S., St.Andrevs Univ., St.Andrevs, 1994, p.30.
20. J.Kricka, in Proc. 20-th Stellar Conf. Nicolaus Copernicus Observatory and Planetarium, eds. J.Duchek, M.Zejda, Brno., 1998, p.73.
21. R.L.Kurucz, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programms and 2 km/s Grid, 1993.
22. F.Kupka, N.E.Piskunov, N.A.Ryabchikova, H.Stempels, W.Weiss, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 138, 119, 1999.
23. J.Budaj, I.Kh.Iliev, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 346, 27, 2003.
24. N.Grevesse, A.J.Sauval, Space Sci. Rev., 85, 161, 1998.
25. T.A.Ryabchikova, N.Nesvaril, W.W.Weiss et al., Astron. Astrophys., 423, 706, 2004.
26. O.Kochuchov, N.Piskunov, I.Ilyin et al., Astron. Astrophys., 389, 420, 2002.
27. M.Nishimura, K.Sadakane, K.Kato et al., Astron. Astrophys., 420, 673, 2004.
28. Ю.В.Глаголевский, Т.А.Рябчикова, Г.А.Чунтонов, Письма в Астрон. ж., 31, 363, 2005.
29. Т.А.Рябчикова, Письма в Астрон. ж., 31, 437, 2005.
30. Ю.В.Глаголевский, Астрон. ж., 71, 858, 1994.