

Сложная структура магнитного поля CP звезды HD32633

Ю.В. Глаголевский¹, Е. Герт²

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

²D-14471, Potsdam, Gontardstr 130, Germany, e-mail: ewald-gerth@t-online.de

Резюме

Методом «магнитных зарядов» исследована структура магнитного поля CP звезды HD32633. Фазовая зависимость магнитного поля у нее сильно отличается от синусоидальной. Оказалось, что звезда имеет структуру поля хорошо описываемую двумя диполями, расположенными в противоположных частях звезды вблизи экватора вращения. Эти диполи создают по две пары близко расположенных магнитных пятна разного знака, наподобие солнечных. Диполи расположены на глубине $\Delta a = 0.6$ радиуса звезды. Напряженность поля на полюсах равна ± 42 и ± 19 кГ.

The complicated magnetic field structure of the CP star HD32633

Yu.V. Glagolevskij, E. Gerth

Abstract

The structure of the magnetic field of the CP star HD32633 was investigated using the modelling method based on "virtual magnetic charges". At this star, the phase relation of the magnetic field differs strongly from that of a sine wave. It turns out, that the star has a field structure which can well be described by two dipoles located in opposite parts of the star close to the equator of rotation. These dipoles create two pairs of closely to each other located magnetic poles of different sign, like solar spots. The dipoles are located in a depth under the star's surface by $\Delta a = 0.6$ stellar radius. The field strength on the poles of the first group is equal to ± 42 kG, and the second one is ± 19 kG.

Key words: stars: magnetic fields – individual: HD32633

1. Введение

В этой работе мы продолжаем исследование структур магнитных полей химически пекулярных (CP) звезд методом «магнитных зарядов» [9]. Этой методикой мы исследовали в общей сложности 23 звезды, из них 9, как оказалось, имеют структуру магнитного поля, соответствующую центральному диполю, 11 смещенному диполю, 1 двухдипольную структуру (HD137909) и одна более сложную структуру (HD37776). В данной работе мы исследуем еще одну звезду, у которой форма фазовой зависимости магнитного поля $B_e(\Phi)$ сильно отличается от синусоиды, которая была бы в случае центрального диполя.

2. Физические параметры

Звезда HD32633 Si+SrCrEu типа пекулярности имеет эффективную температуру $T_e = 12750$ К, абсолютную болометрическую звездную величину, определенную по «Гиппарховским» данным $M_b(G) = -1.1$ и определенную по параметру β $M_b(\beta) = -1.4$ [1]. В этой же работе найдено, что звезда имеет параметр $R/R_z \approx 1.3$, т.е. она относится к звездам V класса светимости. Здесь R это радиус звезды в настоящее время, а R_z — ее радиус на линии нулевого возраста главной последовательности.

Скорость вращения $v \sin i$, необходимая для оценки угла наклона i оси вращения к лучу зрения, взята в работе [2]: $v \sin i = 23$ km/s. В работе [3] показано, что при $v \sin i = 23$ km/s радиус звезды должен быть $R \geq 2.9R_\odot$.

Наши данные показывают, что при использовании «гиппарховского» значения $M_b(G)$ радиус звезды $R = 1.6$, а при использовании $M_b(\beta)$ величина $R = 3.1$. Таким образом последняя величина практически совпадает с данными работы [3]. Мы используем среднее значение между ними $R = 3.0$.

Период вращения $P = 6.43$ дня [4], поэтому по известной формуле $v = 50.6 R/P = 23.7$ km/s ($\sin i = 0.97$) находим, что $i = 84^\circ$ (или 96° если отсчитывать от полюса вращения в полусфере положительного знака поля). Таким образом звезда видна практически точно с экватора вращения.

Заметим, что если взять «гиппарховский» радиус, то $v = 12.6$ km/s и $\sin i > 1$. Следовательно вариант $M_b(\beta) = -1.4$ оказывается более реальным.

3. Фазовая зависимость $B_e(\Phi)$ для HD32633.

В настоящее время существует несколько рядов измерения магнитного поля у звезды HD32633 в разных фазах периода [4 – 8]. Все эти измерения хорошо согласуются между собой кроме данных в [5], которые по примеру работы [4] мы умножили на коэффициент 0.75. Таким образом в нашем распоряжении оказывается 94 измерения, которые надежно определяют фазовую зависимость. Для лучшей наглядности мы отложили на графике усредненные данные, полученные методом скользящего среднего по трем точкам. Этот график представлен на Рис.1 точками. Хорошо видно, что форма фазовой зависимости сильно отличается от синусоидальной, которая обычно бывает у звезд с магнитной конфигурацией центрального диполя.

Для моделирования мы используем обычный наш метод «магнитных зарядов», подробно описанный в [9].

4. Модель центрального диполя.

Как обычно, первым шагом моделирования является получение модели центрального диполя.

Таблица 1

Параметры модели центрального диполя для звезды HD32633

Знак монополя	Долгота, λ	Широта, δ	B_p , гаусс	β
-	0°	-60°	12970	40°
+	180	60	12970	

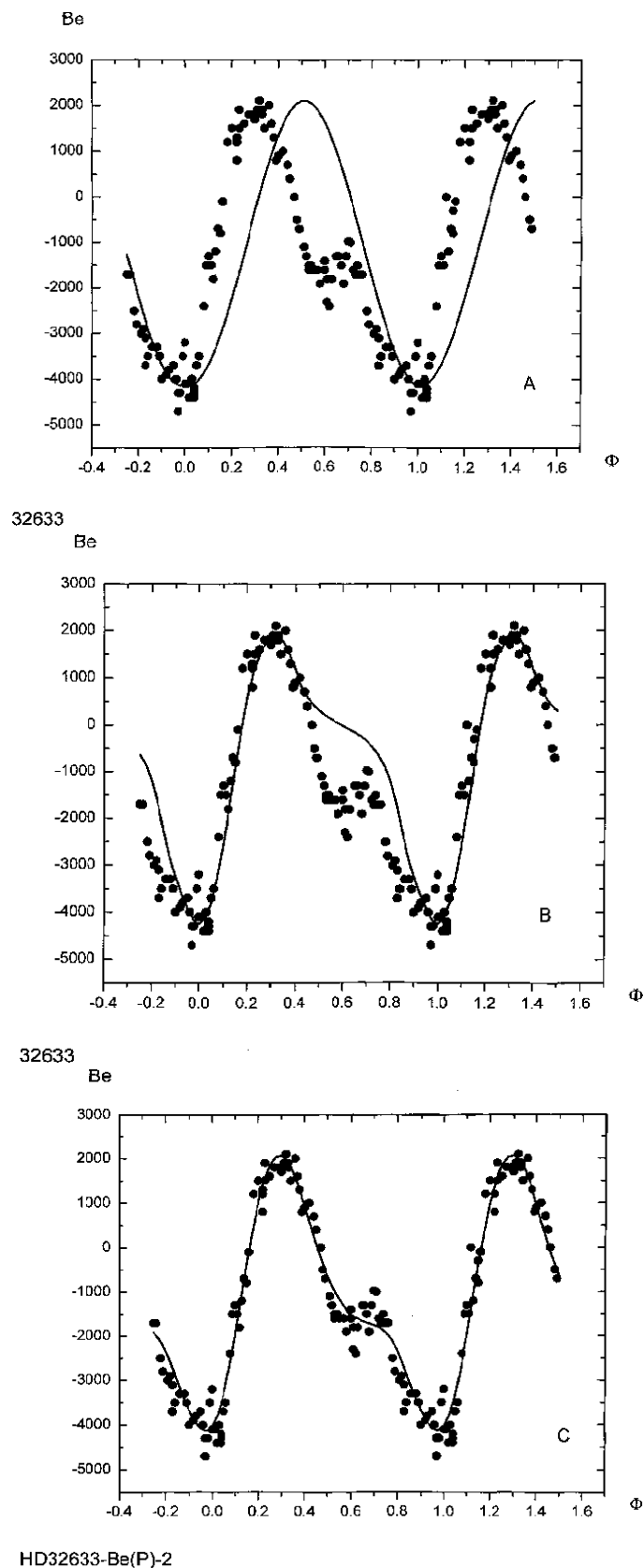


Рис.1 Наблюдаемая и модельная фазовые зависимости магнитного поля звезды HD32633: точки наблюдения, линия – вычисления.

- А – модель центрального диполя,
- В – модель с одним смещенным диполем,
- С – модель с двумя смещенными диполями.

Центральный диполь для HD32633 построен так, чтобы амплитуда B_e была равна наблюдаемой амплитуде. Результаты вычислений показаны в Табл.1 и Рис.1А. На Рис.1 видно, что форма вычисленной фазовой зависимости $B_e(\Phi)$ сильно отличается от наблюдаемой. На этом основании делаем заключение, что конфигурация магнитного поля звезды HD32633 не соответствует модели центрального диполя.

5. Модель смещенного диполя

Значительное количество CP звезд имеет структуру поля соответствующую смещенному диполю. Поэтому следующим шагом было получение этой модели как в случае звезды HD21699 [12]. Результаты вычислений приведены в Табл.2 и Рис.1В.

Таблица 2

Параметры модели смещенного диполя для звезды HD32633

Знак монополя	Долгота, λ	Широта, δ	B_p , гаусс	β
-95	27	-5	143000	
+95	47	15	157000	

На Рис.2 видно, что восходящая часть фазовой зависимости на $\Phi > 0$ хорошо соответствует наблюдаемой фазовой зависимости, но нисходящая часть $\Phi > 0.5$ резко отличается от нее. Очевидно, что одним диполем нельзя описать наблюдательные данные. Смещение диполя от центра звезды в данном случае получается равным $\Delta a = 0.6 \pm 0.1$.

6. Сложная, двухдипольная модель

Методом последовательных приближений удалось получить вычисленную фазовую зависимость, удовлетворительно описывающую наблюдательные данные (Рис.1С, Табл.3)

Таблица 3

Параметры двухдипольной модели магнитного поля звезды HD32633

Знак монополя	Долгота, λ	Широта, δ	B_p , гаусс	β
-152	27°	-5°	-42447	50°
+152	47	12	+42447	
-66	215	-5	-19302	5
+66	217	23	+19302	

Сдвиг обоих диполей $\Delta a = 0.6 \pm 0.1$. Возможно сдвиг каждого диполя на самом деле разный, но фазовая зависимость слабо меняется при изменении Δa , и его точно установить трудно. Поскольку ошибка величины Δa может находиться в пределах 0.1, то можно утверждать, что уровни, на которых расположены диполи, вряд ли различаются больше, чем на эту величину. На рисунке видно, что в районе ступеньки на фазе $\Phi \approx 0.7$ наблюдаемые значения магнитного поля изменяются более резко, чем получается из модели, которая дает плавную ступеньку. Однако, скорее всего резкие изменения не реальные, потому что мы наблюдаем интегральную картину по полусфере и все локальные особенности должны быть сглажены. Резкие изменения, скорее всего, вызваны сложными изменениями поляризации в профилях, приводящих к искаженным измерениям в отдельных фазах периода. Полученную модель мы принимаем как первое приближение.

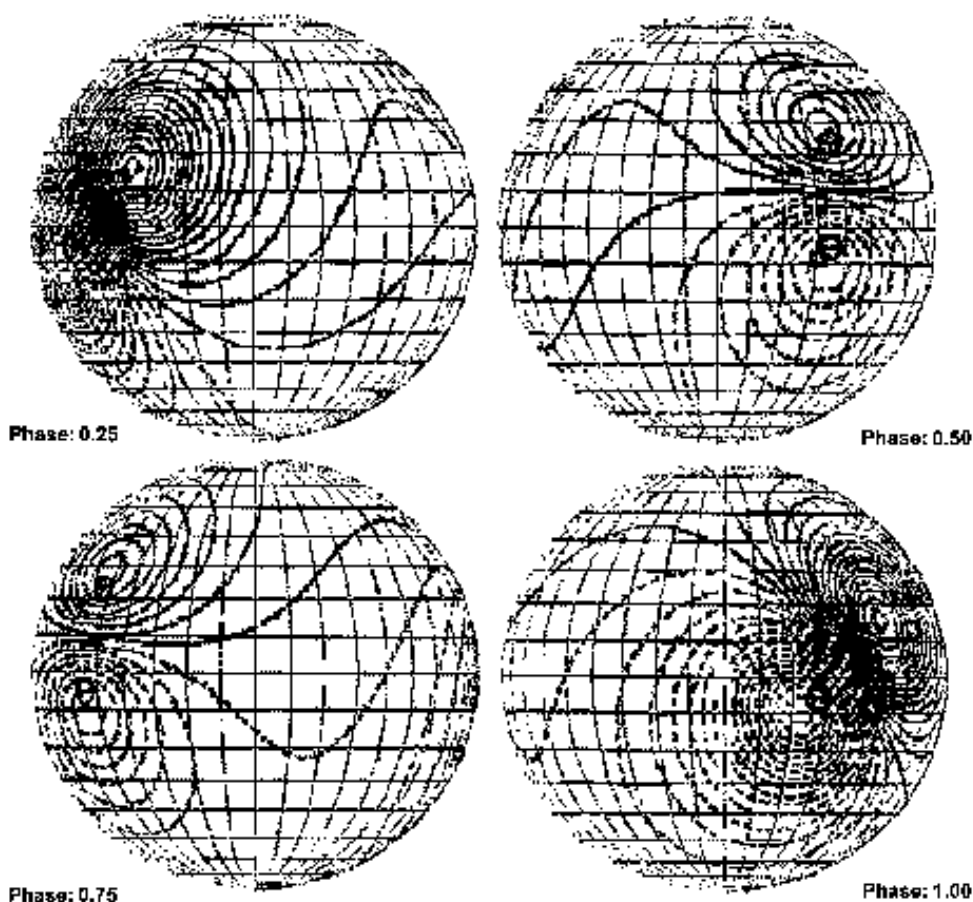
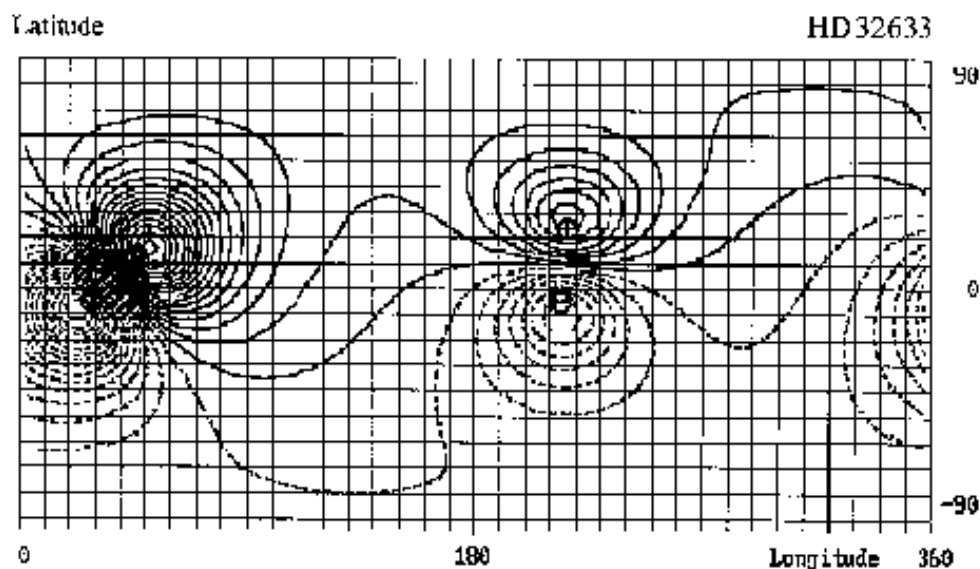


Рис.2 Меркаторская карта и глобусы, показывающие распределение магнитного поля по поверхности HD32633.

Величина $\Delta a = 0.6$ представляется достаточно надежной, так как при ее уменьшении модельный положительный максимум становится более широким а ступенька более сглаженной. При увеличении Δa максимум становится более узким, чем наблюдаемый, а ступенька становится ниже наблюдаемых значений. Координаты максимальной напряженности магнитного поля оказались следующими: «сильный диполь» положительный полюс $\lambda = 51^\circ$, $\delta = 15^\circ$, отрицательный полюс $\lambda = 24^\circ$, $\delta = -9^\circ$; «слабый диполь» положительный полюс $\lambda = 217^\circ$, $\delta = 28^\circ$, отрицательный полюс $\lambda = 215^\circ$, $\delta = -10^\circ$. Одной из основных характеристик магнитного поля CP звезд в случаях дипольного магнитного поля является

угол между осью диполя и осью вращения – β . В рассматриваемой модели очевидно параметр β определяется для каждого диполя отдельно. В данном случае этот параметр не имеет того определенного значения, какое он имеет в случае дипольного поля.

На Рис.2 приведена меркаторская карта распределения магнитного поля у звезды HD32633, а также глобусы звезды в разных фазах периода вращения. Видно, что расстояние между монополями достаточно большие, т.е. диполи имеют вид стержневых магнитов. Оси диполей направлены под большим углом к экватору вращения. Плоскости, которые проведены через обе оси диполей, находится под углом $\beta \approx 50^\circ$ и 5° для сильного и слабого диполя соответственно относительно оси вращения.

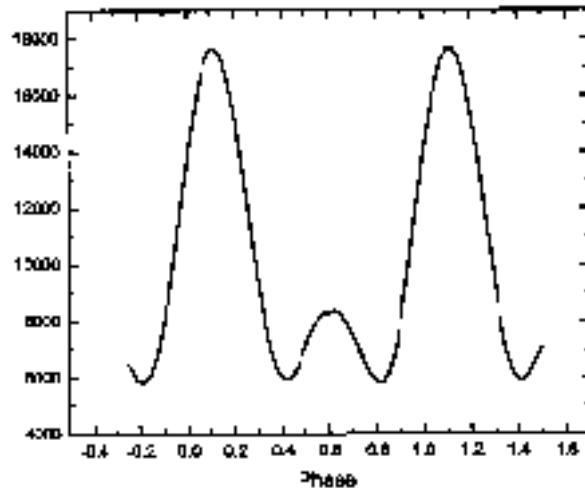


Fig.3. Phase relation of the average surface magnetic field B_s , computed in terms of the two-dipole model

Структуры изо-магнитных линий пжaten на рис.3 pokhozhy solnechnym пжatnam, kak eto bylo opisano Gertom i Glagolevskim dlja звjозdных пжaten [15,16]. Modelirovaniye takikh пжaten kak na solnce proizvoditsja магнитными истоchnиками противоположной полжарности малоглубоко под powerkhnostju, tak kak получajutsja близко расположennyje пжatna. Eto - эффект экстремальной decentриrowаниjа магнитного диполя. Gert i Glagolevskij демонстриrowали в [17], что магнитный диполь может быт' sdвинутым от центра зvezды на ljубоje расстояние - dazhe wне powerkhnosti зvezды, napример jesли он расположен на sпутнике.

Programma vychislenija магнитных полей на основе магнитных зарjадов работajет во wсекh слухajакh на том zhe самом алгорифме. My obratим wниманиje на тот wажный пункт, что vychislenije магнитной карты зvezды tolko описыwajет настojашчужу структуру магнитного поля в kачестве momentной photographii, но eto nicheго nje wskazywajет о generacii i istorии магнитного поля на зvezде.¹⁾

- 1) **Remark:** The present article is an example of the discussion between the authors before completion – disagreeing with the printed version. Unfortunately, we have not at hand the last overworked manuscript, which had been given to the redaction of the journal.

In the last form, the text was translated and published by Pleiades Publishing, Ltd., 2008. We will replace this text by the correct one of the last version in the final form as soon as possible.

The article is available in English by the address: www.ewald-gerth.de/124engl.pdf

7. Обсуждение

Из двадцати исследованных нами звезд только две имеют двухдипольную структуру, это HD32633 и HD137909 [10]. Однако между ними имеется существенное различие в форме фазовых зависимостей $B_c(\Phi)$. Это приводит к тому, что у первой из них оси диполя, как мы видели, оказываются примерно перпендикулярны плоскости экватора вращения а у второй – параллельны. Это важное обстоятельство должно учитываться при исследовании начальных фаз возникновения магнитных звезд и их дальнейшей эволюции. Последнее время проблеме начальных фаз эволюции звезд придается большое внимание. Например в работе [11] рассматриваются условия сохранения вначале нестабильного магнитного поля звезд и перехода его со временем в устойчивое состояние, какое мы наблюдаем у магнитных звезд. Оказалось, что устойчивая конфигурация – это кольцо внутри звезд, образованное переплетающимися магнитными силовыми линиями. Эта фигура осесимметрична. Внутри этого кольца образуются магнитные силовые линии, формирующие полоидальную составляющую магнитного поля, которую мы и наблюдаем. Расчеты показали, что такая конфигурация стабильна в течение 10^{10} лет, как это получается также из наблюдений [13]. Со временем только омическая диссипация разрушает это поле [11, 14]. По нашему мнению рассматриваемая работа представляет собой существенный шаг в деле исследования начальных фаз эволюции звезд и такое направление надо всячески усовершенствовать. В частности, пока неясно как в рамках этой работы объяснить конфигурации магнитных полей у рассматриваемых двух звезд. Как видно из Рис.1С вычисленная зависимость очень хорошо соответствует наблюдаемой. Это говорит о том, что структура магнитного поля хорошо соответствует двух дипольной, во всяком случае отличается от нее не сильно. Обе звезды имеют большой возраст, они принадлежит к V классу светимости и их структура должна была бы упроститься после выхода на главную последовательность. С другой стороны в конце жизни звезды на главной последовательности, когда тороидальное поле всплывает к поверхности, может возникнуть нестабильность [11]. Однако HD32633 и HD137909 еще не такие старые объекты, в которых такая нестабильность может возникнуть. Рассматриваемая схема [11] не описывает также такие свойства как, например, то, что магнитные звезды имеют любые значения углов между осью диполя и осью вращения β .

Khotja wsjo goworit o tom, chto magnitnyj moment zvezdy sushchestwujet uzhe dawno i okazywajetsja w nastojashcheje wremja srawnitelno stabilno, my dolzhny jeshcho imet' wo widu druguju wozmozhnost': Blizkoje raspolozhenije magnitnykh pjaten pokazywajut na fokus magnitnykh linij nje globoko pod powerkhnostju zvezdy i napominajut na pokhozhnost' s solncem. Po-etomu proiskhozhdenje magnetizma tozhe mozhet byt' pokhozhe tomu solnca. Izwestno i dowolno issledowano, chto na solnce generitujetsja magnitnoje pole jeshcho w nastojashcheje wremja turbulentnymi i konwektnymi dwizhenijami, kotoryje wzaimodejstwujut s elektricheskimi potokami w nedrah solnechnogo tela - kak dinamo. Eto znachit, chto dejstwija mekhanizma dinamo nje stoit srazu iskluchit'. Issledowanije prodolzhajetsja!

Литература

- 1) Yu.V.Glagolevskij, Bull. Spec. Astrophys. Obs., **33**, 33, 2002
- 2) E.F.Borra, J.D.Landstreet ApJS, **42**, 421, 1980
- 3) F. Leone et al., Astron. Astrophys., **355**, 315, 2000.
- 4) P. Renson, Astron. Astrophys., **139**, 131, 1984
- 5) G. Preston, K. Stepien, Ap.J., **151**, 577, 1968
- 6) E.F. Borra, J.D. Landstreet, Astrophys. J. Suppl., **42**, 421, 1980
- 7) G. Mathys, Astron. Astrophys. Suppl., **89**, 121, 1991.

- 8) G.A. Wade, J-F. Donati, J.D. Landstreet, S.L.S. Shorlin, MNRAS, **313**, 851, 2000.
- 9) E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij, Bull. Spec. Astroph. Obs., **56**, 25, 2003
- 10) Yu.V. Glagolevskij, E. Gerth, in "Magnetic stars", ed. Yu.V. Glagolevskij, I.I. Romanyuk, D.O. Kudtryavtsev, Nizhnij Arkhyz, 2004, p.142.
- 11) J. Braithwaite, A. Nordlund, Astron. Astrophys., **450**, 1077, 2006.
- 12) Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов, Астрофизика, **3**, (in press), 2007
- 13) Yu.V. Glagolevskij, in "Magnetic stars", ed. Yu.V. Glagolevskij, I.M. Kopylov, Leningrad, "Nauka", 1988, p.206
- 14) Yu.V. Glagolevskij, E. Gerth, Bull. Special Астрофиз. Obs. **58**, 17 (2005)
- 15) E. Gerth, Yu.V. Glagolevskij, in "Modelling of Stellar Atmospheres, ed. N. Piskunov, W.W. Weiss, D.F. Gray, Uppsala/Sweden, IAU Symp. **210**, 423, 2002
- 16) E. Gerth, Yu.V. Glagolevskij, in "1st Potsdam Thinkshop on Sunspots and Starspots", ed. K.G. Strassmeier, A. Washuettl, Potsdam/Germany, AIP, 111, 2002
- 17) E. Gerth, Yu.V. Glagolevskij, in "The Star Puzzle", ed. J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, W.W. Weiss, Poprad/Slovakia, IAU Symp. **224**, 629, 2005