

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕКУЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ HD 119213

Ю. В. Глаголевский, И. И. Романюк, В. Д. Бычков, В. С. Лебедев

На основании 49 зеемановских спектрограмм, полученных на 6-м телескопе с дисперсией $9 \text{ \AA}/\text{мм}$, была сделана попытка изучить изменение магнитного поля звезды HD 119213 с периодом, несмотря на очень широкие ($\sim 0.5 \text{ \AA}$) спектральные линии. Зависимость усредненного по всем линиям поля хорошо прослеживается с периодом, однако наблюдается большое рассеяние точек. Амплитуда изменения поля заключена в пределах от -650 до $+1200$ Гс. Кривые магнитного поля, построенные по разным химическим элементам, существенно различаются вплоть до разного знака. Попытки моделирования поля и распределения химических элементов Cr, Ti и Fe по поверхности звезды привели к неуверенным результатам. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований с большей дисперсией. Сделаны оценки $T_{\text{ef}}=8150 \text{ K}$ и $\lg g=3.9$ по профилям линий водорода и $v \sin i=33 \text{ км/с}$ по линии Mg II $\lambda 4481$. На основании этих данных, усредненных с литературными данными, найден угол наклона звезды $i=60^\circ$ к лучу зрения.

On the basis of 49 Zeeman spectra obtained at the 6-m telescope with a dispersion of $9 \text{ \AA}/\text{mm}$ an attempt is made to investigate the variability of the magnetic field of HD 119213 in spite of very wide ($\sim 0.5 \text{ \AA}$) spectral lines. A dependence of the field averaged from all the lines is well observed with a period, however there is a large scattering of points. An amplitude of the variation changes from -650 to $+1200$ Gauss. The magnetic field curves constructed from different chemical elements essentially differ up to a different sign. Attempts of modelling the field variation and the distribution of Cr, Ti, Fe elements on the surface of the star have led to uncertain results. A conclusion is made on the necessity of further investigation with a higher dispersion. Estimates of $T_{\text{ef}}=8150 \text{ K}$ and $\lg g=3.9$ are made from the hydrogen line profiles, and $v \sin i=33 \text{ km/s}$ is estimated from Mg II $\lambda 4481$ line. On the basis of these data averaged with literature data a declination angle of the star $i=60^\circ$ is found.

В САО АН СССР на 6-м телескопе проводятся исследования магнитных полей пекулярных звезд, имеющих из-за быстрого осевого вращения относительно широкие спектральные линии. Известные до сих пор магнитные звезды вследствие вынужденной селекции имеют резкие линии с шириной до $\omega=0.3 \div 0.4 \text{ \AA}$, хотя существует большое число пекулярных звезд с более широкими спектральными линиями. Наблюдатели неоднократно задавали себе вопрос, есть ли у таких звезд магнитное поле и если есть, то каковы его напряженность и структура. Существует мнение, что именно звезды с резкими спектральными линиями обладают наиболее сильными полями вследствие того, что поле тормозит вращение.

В программу звезд, имеющих широкие спектральные линии, мы внесли звезду HD 119213. В течение некоторого времени не было единого мнения о длительности периода фотометрических изменений звезды, однако в результате работы [1] эта проблема была решена. Начальная фаза и период в настоящее время приняты следующими:

$$JD = 2440747.620 + 2^d 449967.5$$

Рассмотрим основные параметры и свойства звезды HD 119213. Фотометрические параметры ее следующие; $V=6^m 293 \pm 0^m 009$, $B-V=+0^m 107 \pm 0^m 005$ и $U-B=+0^m 018 \pm 0^m 007$. По этим показателям цвета звезда резко отличается от нормальных звезд, находясь на диаграмме $(U-B)-(B-V)$ выше полосы, занимаемой нормальными звездами, и указывая на аномальное распределение энергии в непрерывном спектре. По эмпирическим зависимостям показателя

цвета от эффективной температуры [2] находим $T_e = 8600 \text{ K}$ ($B-V$) и $T_e = 9600 \text{ K}$ ($U-B$). С другой стороны, по спектральному классу $Sp = A4r$ [3] находим с помощью эмпирической зависимости $Sp(T_e)$ [4] $T_e = 8500 \text{ K}$, что близко к значению температуры, найденному из ($B-V$). Следовательно, аномальным может быть значение ($U-B$) и, скорее всего, это происходит из-за уменьшенного бальмеровского скачка — характерного признака многих Ар-звезд [5]. Далее мы увидим, что температура, найденная по $Sp = A4$, окажется наиболее вероятной. Величина бальмеровского скачка для звезд с $T_e = 8600 \text{ K}$ равна $D = 0.42$ в системе [5], а у HD 119213 его можно оценить как $D = 0.36$.

Характерной особенностью изучаемой звезды является очень большая для Ар-звезд амплитуда изменения блеска, а именно:

$$\Delta U = 0^m 055, \quad \Delta B = 0^m 064, \quad \Delta V = 0^m 009.$$

Следовательно, велики неоднородности физических условий на поверхности.

Попытаемся оценить угол наклона i звезды к лучу зрения. Предположим, что звезда принадлежит главной последовательности. Тогда из эмпирического соотношения эффективной температуры от радиуса R [6] находим $R = 2.0$ в единицах радиуса Солнца. По известной формуле

$$v = \frac{50.6R}{P},$$

где P — период вращения, находим $v = 41.4 \text{ км/с}$ при $P = 2^d 45$. В соответствии с работой [7] величина $v \sin i = 21 \pm 5 \text{ км/с}$, она определена по линии Mg II $\lambda 4481$, а согласно работе [8], $v \sin i = 30 \pm 5 \text{ км/с}$. В работе [9] показано, что полуширина линии Mg II $\lambda 4481$ меняется от 0.7 до 1.1 Å, что соответствует $v \sin i$ в пределах приблизительно 50—60 км/с. Наши оценки по этой линии дают $v \sin i = 33 \text{ км/с}$, а по линиям Fe, Cr и Ti в окрестности линии Mg II $\lambda 4481$ $v \sin i = 25 \text{ км/с}$ в фазе $P = 0$. Среднее значение из всех этих определений получается равным 33 км/с. В соответствии с этим находим $i = 60^\circ$ при $P = 2^d 45$.

Интересно было бы определить абсолютную величину звезды на основании оценок T_e и $\lg g$ путем сравнения измеренных профилей водородных линий с теоретическими, вычисленными по хорошим моделям. Однако имеется опасность, что структура звезды может быть аномальна, имея в виду предполагаемые неоднородности физических условий на поверхности, а это приведет к аномальным профилям водородных линий и неверным искомым параметрам. Тем не менее мы попытались использовать эту возможность. Профили H_γ и H_δ измерены по спектрам с дисперсией 9 Å/мм, полученным на Основном звездном спектрографе БТА. Для этой цели взято 7 спектров в фазах 0.97 (2 спектра), 0.75 (2), 0.49 (2) и 0.23 (1). Теоретические профили взяты из работы [10]. Наилучшие теоретические профили подбирались с помощью ЭВМ М-222 методом наименьших квадратов. Сравнение производилось в 23 точках, при этом теоретические профили ограничивались на расстоянии 32 Å от центра, так как реальные крылья водородных линий имеют такую протяженность. В результате такой процедуры было получено, что $T_e = 8100 \pm 200 \text{ K}$ и $\lg g = 3.9 \pm 0.3$. На первый взгляд, ускорение силы тяжести свидетельствует о принадлежности звезды к главной последовательности, однако надо учитывать, что в данном диапазоне температур зависимость формы контуров от $\lg g$ очень слабая. Если взять, например, контур для $T_e = 8500 \text{ K}$, то на расстоянии 11—12 Å от центра линии разница остаточных интенсивностей для $\lg g = 3$ и $\lg g = 4$ равна всего 0.05, что сравнимо с ошибками измерений. Поэтому вопрос об истинном значении $\lg g$ и абсолютной величине звезды HD 119213 остается неопределенным.

Следует ожидать, что у пекулярных звезд, имеющих сильную фотометрическую переменность и значительные спектральные изменения [8, 9], должно присутствовать сильное магнитное поле. Для проверки этого предположения в течение 1977—1980 гг. было получено 49 зеемановских спектрограмм с дисперсией 9 Å/мм на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа. Моменты наблюдений достаточно равномерно распределены в течение периода фотометрических изменений. Часть спектрограмм получена с анализатором, разводящим

изображения на $2''.5$ (ширина спектров 0.25 мм) и часть с 5-секундным анализатором (ширина спектров около 0.4 мм). Ширина спектральных линий у HD 119213 довольно велика (~ 0.5 Å) и профили, как правило, очень сложны, их форма в разных поляризациях различна, все это сильно уменьшает точность измерений поля. Для получения большей точности во многих случаях в ночь получалось 2—3 спектра. Измерения спектрограмм проводились на специально

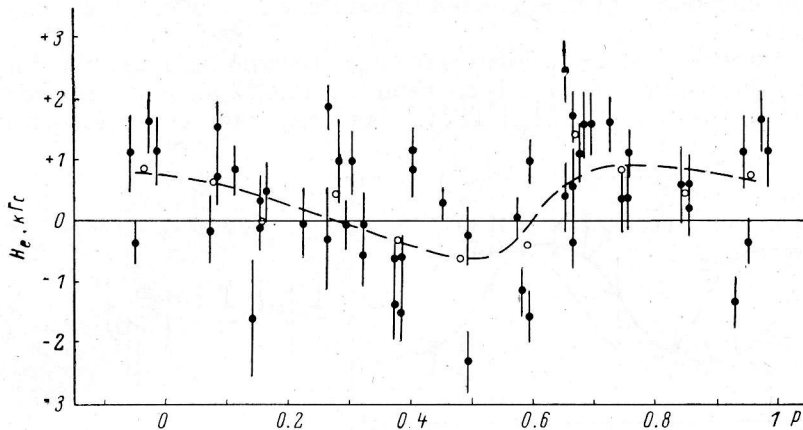


Рис. 1. Изменение магнитного поля HD 119213.

сконструированном в обсерватории приборе, основанном на принципе развертки измеряемой линии на экране осциллографа во взаимно противоположных направлениях. Этот принцип хорошо известен. График изменения поля представлен на рис. 1. На рисунке видно, что точки ложатся со значительным рассеянием, образуя, однако, заметную зависимость. Эта зависимость хорошо прослеживается, несмотря на то, что некоторые точки имеют значительные отклонения от среднего. Для более уверенного выявления периодической переменности поля все измерения были усреднены внутри интервалов $0.1P$ (незалитые кружки), и кривая, проведенная через эти средние значения, показывает, что амплитуда изменений поля заключена в пределах от -650 до $+1200$ Гс, т. е. звезда имеет среднее для магнитных звезд поле.

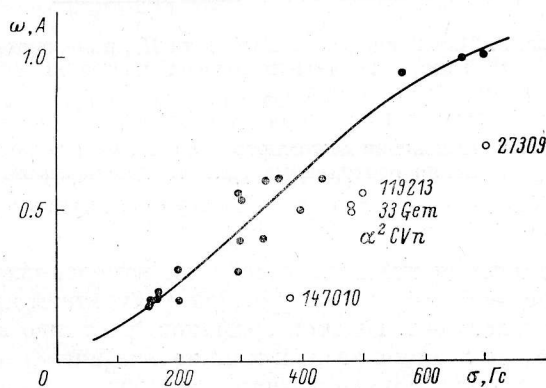


Рис. 2. Зависимость средней квадратической ошибки измерения H_e от ширины спектральных линий.

Основными причинами, на первый взгляд, значительного разброса точек могут быть следующие: 1) велики ошибки измерений вследствие большой ширины спектральных линий; 2) наблюдается сложная структура в линиях или сложное распределение поляризации в них вследствие каких-то особенностей звезды.

Выясним сначала роль ошибок измерений. Для этого мы построили график зависимости средней квадратической ошибки измерения H_e , полученной нами и другими авторами (рис. 2). На графике хорошо заметна основная зависимость, обозначенная сплошной линией, справа от которой расположена часть точек, т. е. для некоторых звезд при той же ширине спектральных линий точность измерения эффективного магнитного поля получается меньше. К таким звездам, в частности, относятся HD 27309, α^2 CVn, HD 147010, а также исследуемая

нами HD 119213. При измерениях спектра HD 119213 мы обнаружили, что разные химические элементы дают разное поле, а в некоторых фазах оно имеет даже противоположный знак. Аналогичный эффект уже упоминался в литературе [11, 12] для звезд α^2 CVn, HD 11187, HD 24712 и др. Естественно, при наличии такого эффекта не только уменьшается эффективное магнитное поле, но и увеличивается разброс результатов измерений. Вероятно, это происходит вследствие сложного распределения химических элементов по поверхности звезды.

Рассмотрим теперь, как изменяется магнитное поле, измеренное по линиям разных химических элементов. В спектре HD 119213 наиболее многочисленные линии принадлежат Fe, Cr II и Ti II. Для получения более плавных кривых

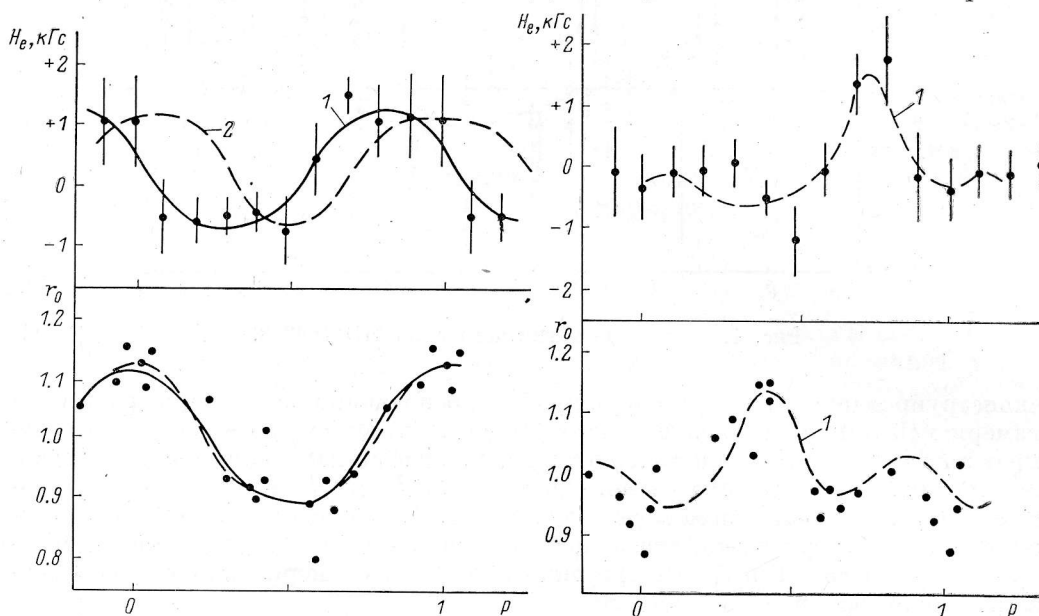


Рис. 3. Изменение магнитного поля H_e , измеренного по линиям хрома, относительные изменения центральных интенсивностей линий хрома r_0 [14] с фазой периода.

1 — средняя наблюдаемая кривая; 2 — теоретическая кривая.

Рис. 4. Изменение магнитного поля H_e , измеренного по линиям титана, относительные изменения центральных интенсивностей линий титана r_0 [14] с фазой периода.

1 — теоретическая кривая.

изменения поля мы усреднили измеренные значения H_e методом скользящего среднего в пределах $\pm 0.1P$ и результаты нанесли на графики, представленные на рис. 3—5. Из этих графиков отчетливо видно, что магнитное поле, измеренное по линиям разных химических элементов, в отдельных фазах различается, особенно это различие заметно в фазах 0.8—0.4. В фазах 0.1—0.3 противоположный знак поля возникает между Fe и Cr II. Неожиданным является различие H_e , получаемого по линиям Fe I и Fe II. Такая ситуация может иметь место или вследствие методических причин или из-за наличия на поверхности звезды температурных неоднородностей. Прежде чем анализировать эти причины, обсудим реальность, значимость полученных различий. Ошибки измерения каждой точки вычислялись по внутренней сходимости (табл. 1). В фазе $P=0$ достоверность различия между Fe I и Fe II равна 92%, между Fe I и Ti II — 83%, между Cr II и Ti II — 76%. В фазе 0.1 различия невелики, в фазе 0.2 достоверность различия между Fe I и Cr II равна 87%, в фазе 0.3 значимым следует считать различие между Fe II и Cr II (95%). В фазах 0.4—0.7 значения поля практически совпадают, далее достоверность различия для следующих пар равна: в $P=0.8$ для (Fe I, Ti II) — 82%, в $P=0.9$ для (Fe I, Fe II) — 96%, для (Fe I, Ti II) — 96% и для (Cr II, Ti II) — 82%. Даже если данные для Fe I и Fe II усреднить, то различия между Cr II, Ti II и Fe I, II

ТАБЛИЦА 1
Магнитное поле, усредненное по фазам периода

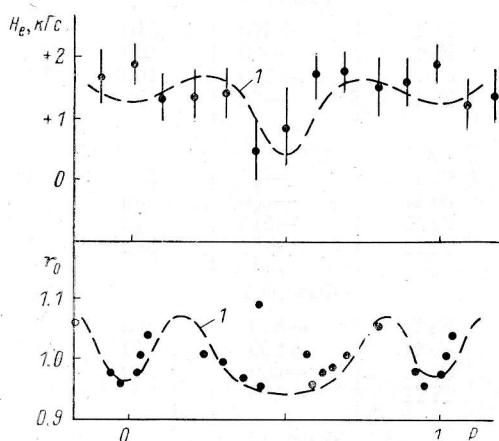
Элемент	Поле, Гс	Ошибка, Гс	Элемент	Поле, Гс	Ошибка, Гс
Фаза 0.6			Фаза 0.1		
Fe I	+860	±560	Fe I	+205	±410
Fe II	+700	330	Fe II	+80	390
Cr II	+430	590	Cr II	-540	640
Ti II	-60	450	Ti II	-40	420
Фаза 0.7			Фаза 0.2		
Fe I	+750	540	Fe I	+490	510
Fe II	+1270	300	Fe II	-20	460
Cr II	+1480	310	Cr II	-590	400
Ti II	+1430	490	Ti II	-60	450
Фаза 0.8			Фаза 0.3		
Fe I	+450	530	Fe I	-50	530
Fe II	+600	720	Fe II	+700	450
Cr II	+1080	610	Cr II	-510	340
Ti II	+1820	750	Ti II	+50	390
Фаза 0.9			Фаза 0.4		
Fe I	+1100	420	Fe I	-820	580
Fe II	-200	510	Fe II	+140	570
Cr II	+1120	710	Cr II	-430	330
Ti II	-210	770	Ti II	-450	300
Фаза 0.0			Фаза 0.5		
Fe I	+1280	340	Fe I	0	770
Fe II	+250	400	Fe II	-180	630
Cr II	+1040	770	Cr II	-770	570
Ti II	-400	550	Ti II	-1180	600

останутся достаточно реальными (рис. 3—5). Это свойство хорошо заметно при измерении спектрограмм. В работе [13] также отмечается сложное распределение химических элементов по поверхности звезды. Там этот вывод сделан на основании изучения переменности интенсивностей и лучевых скоростей спектральных линий Cr II, Ti II и Fe I, II. Очевидно, что в таком случае форма профилей и распределение поляризации в них будут носить очень сложный характер.

Сравним кривые изменения магнитного поля и кривые изменения центральной глубины линий (из [13]) для рассматриваемых трех химических элементов. Наиболее простая форма колебаний H_e с фазой периода получается по линиям Cr II (рис. 3). Мы видим здесь широкие плоские максимумы, а амплитуда положительной полуволны больше, чем отрицательной. Последнее свойство характерно для звезды, ось вращения которой значительно наклонена к лучу зрения. Центр отрицательной полуволны приходится на $P=0.25$, а положительной полуволны — на $P=0.85$. Экстремумы кривой изменения центральной глубины линии r_0 попадают на фазы 0 и 0.5. Смещение обеих кривых относительно друг друга непонятно с точки зрения наклонного ротатора. Теперь рассмотрим рис. 4, где приведены аналогичные кривые для Ti II. Обе кривые имеют двойную волну, причем экстремумы в первом приближении можно считать совпадающими. Обе кривые сильно отличаются от предыдущих. Еще более сложные кривые $H_e(P)$ и $r_0(P)$ получаются для железа. На рис. 5 приведена средняя кривая для Fe I и Fe II. Зависимости $H_e(P)$ и $r_0(P)$ для Fe имеют только одно общее свойство: минимум кривой $r_0(P)$ совпадает с экстремумом отрицательной полярности на фазе $P \approx 0.5$ и максимумы кривой $r_0(P)$ на $P=0.1$ и 0.8 совпадают с небольшими минимумами на кривой $H_e(P)$.

Что касается переменности магнитного поля, измеренного по линиям других элементов, то можно отметить следующее. Амплитуда изменений поля, измеренного по Si II и Sr II, имеет значительную величину, до 3—3.5 кГс, но точность измерений низка вследствие малого числа спектральных линий. Кстати, амплитуда неусредненных кривых H_e только что рассмотренных химических элементов тоже больше, так как методом скользящего среднего мы сглаживаем ее.

Следует вспомнить, что имеются и другие звезды, которые обладают значительной переменностью, в частности спектральной, но не показывают заметного магнитного поля. Такой звездой является, например, 21 Per. Химические элементы отчетливо концентрируются в двух областях [14], вызывая



сильные спектральные изменения, заметную фотометрическую переменность, но попытки измерить магнитное поле [15] ни к чему не привели. Ряд других пекулярных звезд, имеющих типичные спектральные аномалии, показывает слабое магнитное поле, а иногда оно и вовсе незаметное.

Рис. 5. Изменение магнитного поля H_e , измеренного по линиям железа, относительные изменения центральных интенсивностей линий железа r_0 [14] с фазой периода.

1 — теоретическая кривая.

Неуверенность кривых изменения магнитного поля затрудняет моделирование распределения поля и химических элементов по поверхности. Однако в порядке предварительного исследования мы предприняли попытку найти параметры диполя и изучить распределение химических элементов в форме круглых пятен методом, описанным в работе [16]. Наилучшие результаты получены с углом $i=50^\circ$ и диполем, помещенным в центре звезды. Долгота положительного магнитного полюса принята $\alpha=0^\circ$. Угол между осью вращения и осью диполя получился равным $\beta=90^\circ$, т. е. ось диполя расположена в плоскости экватора звезды. Параметры пятен хрома, титана и железа приведены в табл. 1, где α_i и δ_i — координаты центров «пятен», r_i — их радиус в градусах, η_i — отношение поглощения в центре линии к поглощению в континууме (эддингтоновское η), причем вне пятна $\eta=1$. Здесь i — номер пятна, он равен 1 и 2. На рис. 3—5 приведены наблюдаемые и вычисленные кривые изменения магнитного поля и центральной глубины линии [13] с фазой периода (штриховая линия). Различия между наблюдаемыми и вычисленными кривыми возникают в результате недостаточной точности измерений и из-за грубости представления области концентрации химических элементов в виде круглых пятен. Дальнейший прогресс в деле изучения магнитного поля и распределения химических элементов на HD 119213 возможен только при использовании высокой, не ме-

ТАБЛИЦА 2

Параметры «пятен» распределения химических элементов

Элемент	α_1	δ_1	r_1	η_1	α_2	δ_2	r_2	η_2
Cr	0	90	50	1000	—	—	—	—
Ti	150	120	25	3000	310	120	15	300
Fe	50	90	25	300	310	90	25	300

нее 4 Å/мм, дисперсии. Необходимы также высокоточные фотоэлектрические измерения магнитного поля.

Рассматривая полученные результаты, отметим, что магнитное поле для хрома не удается смоделировать достаточно хорошо. Теоретическая кривая сдвинута по отношению к наблюдаемой на 0.3 периода. При этом оказывается, что существует только одно пятно хрома. Пока не удастся объяснить полученное расхождение. Возникает также проблема следующего характера. Если химические элементы распределены по поверхности звезды столь сложным образом, то неясно, какой же из них вызывает сильную фотометрическую переменность.

Литература

1. Photoelectric photometry at the Hvar observatory. II. The Ap star CQUMa/ Z. Mikulašek, P. Hermanek, J. Grigar, F. Zdarsky. — Bull. Astr. Inst. Czechosl., 1978, 29, No. 1, 44.
2. Аллен. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977.
3. Cowley A., Cowley C., Jaschek C. A catalogue of spectral classifications. — Astron. Journ., 1969, 74, No. 3, p. 375.
4. Копылов И. М. О шкале эффективных температур звезд. — Изв. КрАО, 1963, 30, с. 69.
5. Глаголевский Ю. В. Некоторые результаты наблюдений непрерывных спектров магнитных и пекулярных звезд. — Астрон. ж., 1966, 43, с. 73.
6. Копылов И. М. Физические характеристики горячих звезд. — Изв. КрАО, 1967, 36, с. 134.
7. Mikulašek Z. Rotational velocity and the light variation period of HR 5153. — Astron. Nachr., 1976, 297, No 5, p. 245.
8. Mikulašek Z., Grigar J. Preliminary analysis of the Ap-star CQUMa. — Hvar Observ. Bull., 1978, No. 2, p. 4.
9. Bonaśk W. K. Spectrum variations in the Ap-type stars. I. A survey of stars between 7^h and 19^h right ascension. — Pub. Astron. Soc. Pac., 1974, 86, No. 512, p. 408.
10. Kurcz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1979, 40, No. 1, 340 p.
11. Puper D. M. α^2 CVn and oblique rotator theory. — Astroph. J. Suppl. Ser., 1969, 18, No 164, p. 347—378.
12. Babcock H. W. Catalogue of magnetic stars. — Astroph. J. Suppl. Ser., 1958, 3, No. 3, p. 141—210.
13. Mikulašek Z. Studium peculiarni hvezdy CQUMa. Dissertation. Brno, 1980.
14. Спектроскопическое исследование магнито-переменной звезды 21 Per/ Ю. В. Глаголевский, К. И. Козлова, В. С. Лебедев, И. С. Полосухина. — Астрофизика, 1976, 12, вып. 4, с. 631—645.
15. Preston G. W. The variability of 21 Per. — Astroph. J., 1969, 158, p. 251.
16. Лебедев В. С. Расчет параметров Стокса в линиях от магнитных звезд. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 12, с. 25—34.

Поступила в редакцию 12.04.82