

УДК 524.35-337

МАГНИТНЫЕ ЗВЕЗДЫ С БОЛЬШИМИ ДЕПРЕССИЯМИ В КONTИНУУМЕ. 1. AP-ЗВЕЗДА С УСИЛЕННЫМИ ЛИНИЯМИ КРЕМНИЯ HD 5601¹

© 2016 И. И. Романюк*, Д. О. Кудрявцев, Е. А. Семенко, А. В. Моисеева

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 14 июня 2016 года; принята в печать 5 сентября 2016 года

В результате наблюдений на 6-м телескопе найдено, что химически пекулярная звезда с сильной депрессией континуума на $\lambda 5200 \text{ \AA}$ и усиленными линиями кремния в спектре имеет сильное магнитное поле. Продольный компонент поля B_e имеет отрицательную полярность и меняется от -300 до -2000 Гс с периодом 1.756 суток. С этим же периодом происходят фотометрические изменения блеска. Обнаружена переменность лучевой скорости на временах порядка десятков лет, указывающая на возможную двойственность объекта. Построена магнитная модель звезды. Определены углы наклона оси вращения к лучу зрения $i = 20^\circ$ и оси диполя к оси вращения $\beta = 116^\circ$, а также величина поля на полюсе $B_p = 10$ кГс. Проведен анализ химического состава. Найден дефицит гелия почти на порядок величины, избыток кремния и металлов более чем на порядок, в частности, кобальта на три порядка величины.

Ключевые слова: *звезды: магнитное поле — звезды: химически пекулярные — звезды: индивидуальные: HD 5601*

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] мы показали, что практически все химически пекулярные звезды с большими аномалиями в распределении энергии в спектре обладают сильными магнитными полями. Наиболее выраженной аномалией является депрессия континуума на длине волны около $\lambda 5200 \text{ \AA}$. Количественно ее интенсивность выражается фотометрическими индексами Z в Женевской фотометрической системе, либо Δa в системе Венской обсерватории. Детали см. в упомянутой выше работе, где мы приняли, что депрессия сильная при условии, что индексы Z и Δa превышают 0.035 звездной величины.

Магнитное поле было обнаружено у 72 из 96 кандидатов с сильными депрессиями, исследованных нами в [1]. Обнаружить поле у оставшихся 24 звезд не удалось. Большинство из них имеют очень широкие линии в спектре, что вызывает технические сложности при измерениях. Нельзя исключать, что по крайней мере у части из них поле не было зарегистрировано из-за недостаточной точности измерений. Отметим здесь, что при исследованиях пекулярных звезд со слабой депрессией магнитное поле найдено не более чем у 25% из них.

Так или иначе, связь между существованием сильных магнитных полей в атмосферах пекулярных звезд и аномалиями в распределении энергии можно считать доказанной, однако оценить ее количественными параметрами оказалось затруднительным. Например, корреляция между величиной поля и интенсивностью депрессии оказалась слабой. Одной из возможных причин слабой корреляции является то обстоятельство, что непосредственно из измерений невозможно получить реальную, эффективную величину поля на поверхности звезды. В силу ряда причин, описанных первооткрывателем звездного магнетизма Бэбкокком в работе [2], методика измерений магнитного поля такова, что определяется только продольная компонента поля, усредненная по всей видимой поверхности звезды B_e .

Вращение звезды приводит к изменениям величины B_e , поэтому для сравнения разных объектов по величине поля необходимо получить кривую переменности B_e с фазой периода вращения и построить магнитную модель каждой звезды. Исходя из магнитной модели, можно найти модуль вектора поля, усредненного по видимой поверхности B_s , и величину поля на полюсе диполя B_p . Обе эти величины используются в качестве меры, характеризующей магнитное поле звезды в целом.

Наша работа [1] носила обзорный характер. Ее

¹Наблюдательный материал получен на 6-м телескопе САО РАН.

*E-mail: roman@sao.ru

целью было, прежде всего, обнаружить магнитное поле у возможно большего числа объектов. Для этого достаточно было получить для каждого из них по 2–3 спектра с анализатором круговой поляризации. Так как исследованные в работе [1] пекулярные звезды ранее практически не изучались, периоды вращения большинства из них были неизвестны, и наблюдения проводились в случайные фазы периода вращения исследуемых объектов. Полученные данные не позволили определить фазовые зависимости величины B_e , необходимые для построения магнитных моделей.

На протяжении более десяти лет на 6-м телескопе мы проводим систематические наблюдения объектов, магнитное поле которых было впервые найдено нами в работе [1]. Цель этой работы — получение данных для построения кривых B_e с фазой периода вращения и в дальнейшем — для построения магнитных моделей звезд. В первую очередь мы изучаем звезды с наибольшими депрессиями, в спектрах которых имеется достаточно большое количество узких линий. Магнитные поля таких объектов определяются с высокой точностью, что дает возможность на основании этих данных выполнять надежное магнитное моделирование. Выполнены наблюдения нескольких десятков объектов. Настоящей статьёй мы начинаем серию публикаций с результатами этих наблюдений.

2. НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ

HD 5601 (BD – 11°177 = HyIC 4488 = BC Cet = = RNS 1480) достаточно близкая (параллакс $\pi = 3.58$ mas) химически пекулярная звезда спектрального класса A0. Она проецируется высоко над плоскостью Галактики в направлении на ее южный полюс ($b = -73^\circ$). Инфракрасный избыток, исследовавшийся для звезд из списков HIPPARCOS, для HD 5601 равен нулю [3]. Таким образом, влиянием межзвездного поглощения и покраснения на спектр можно пренебречь.

Hensberge et al. [4] нашли у звезды фотометрическую переменность с периодом $P = 1^d.110 \pm 0^d.002$. Указания на существование других периодов ими не найдены. В каталоге периодов переменности Ap- и Vp-звезд Catalano and Renson [5] приведено это же значение периода.

Глаголевский [6] определил эффективную температуру звезды $T_{\text{eff}} = 9850$ K. В каталоге пекулярных звезд Renson and Manfroid [7] тип ее пекулярности обозначен как Si.

Наблюдения в среднеполосных фотометрических системах показали, что в непрерывном спектре HD 5601 наблюдается большая депрессия на длине волны около $\lambda 5200$ Å. Индекс Δa Венской

фотометрической системы равен 0.049 звездной величины [8], а параметр Z Женевской фотометрической системы равен -0.052 звездной величины [9]. North and Cramer [9], используя найденную ими ранее корреляцию между интенсивностью депрессии на $\lambda 5200$ Å и B_s , оценили величину поля на поверхности HD 5601 равной 3 кГс.

Принимая во внимание имеющиеся косвенные признаки наличия у звезды поля, мы включили ее в программу наблюдений на 6-м телескопе БТА. Магнитное поле у HD 5601 было обнаружено. В спектре много узких и резких линий, что позволило выполнить его измерения с высокой точностью. Продольное поле B_e отрицательной полярности величиной до 2 кГс было найдено по трем измерениям [1], и мы посчитали необходимым продолжить наблюдения HD 5601 на 6-м телескопе с зеемановским анализатором для построения магнитной модели звезды.

Позже по этим же спектрам Романюк и др. [10] измерили лучевую скорость R_V звезды. На протяжении трех ночей наблюдений в 2004 г. в пределах ошибок она оказалась постоянной со средним значением $R_V = +11.2$ км с $^{-1}$.

В наблюдениях, выполненных на 6-м телескопе со спекл-интерферометром [11], разрешить звезду на компоненты не удалось.

3. НАБЛЮДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Наблюдения HD 5601 были выполнены на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа в восемь разных дат в период с 2004 по 2015 гг. Первые три проведены в течение трех ночей 2004 г. Их результаты опубликованы в работах [1] и [10]. Следующая серия из пяти сетов выполнялась в 2012–2015 гг. Описание аппаратуры и методики первых наблюдений можно найти в публикациях [1] и [10], а для последующих — например, в работах Романюка и др. [12, 13].

Журнал наблюдений приведен в таблице 1. Там же представлены и результаты измерений продольного магнитного поля B_e и лучевой скорости R_V . В колонках таблицы даны: юлианская дата наблюдений, отношение S/N для каждого полученного спектра, результаты измерений продольной компоненты поля B_e со среднеквадратичной ошибкой σ и результаты измерений лучевой скорости R_V со среднеквадратичной ошибкой σ . Магнитное поле B_e измерялось двумя методами — классическим зеемановским или регрессионным (подробнее см. в статье [12]). Результаты измерений, выполненных регрессионным методом, отмечены звездочкой.

Из таблицы 1 видно, что продольное поле B_e у HD 5601 переменное, во всех моментах регистрации оно имело отрицательную полярность и

Таблица 1. Результаты измерений продольного магнитного поля и лучевой скорости HD 5601

JD (245+)	S/N	$B_e \pm \sigma$, Гс	$R_V \pm \sigma$, км с ⁻¹
3274.371	220	-340 ± 100	$+12.3 \pm 2.3$
3275.375	220	-380 ± 100	$+11.5 \pm 3.4$
3278.429	260	-2000 ± 100	$+9.8 \pm 4.0$
6172.454	180	-1680 ± 70	$+17.0 \pm 2.3$
		$-1340 \pm 60^*$	
6500.542	200	-1750 ± 60	$+18.4 \pm 1.9$
		$-1560 \pm 40^*$	
7288.454	200	-460 ± 60	$+16.1 \pm 1.3$
		$-380 \pm 40^*$	
7289.431	200	-1050 ± 70	$+17.1 \pm 2.1$
		$-800 \pm 40^*$	
7355.227	210	-580 ± 60	$+15.7 \pm 2.1$
		$-630 \pm 30^*$	

* — измерения магнитного поля методом регрессии

менялось в в пределах от -2000 Гс до -350 Гс. Метод регрессии дает величину B_e примерно на 20% меньшую, чем классический метод, предложенный Бэбкоком [2].

Период 1.11 суток, найденный в работе [4], не подходит для описания наших магнитных данных. Для поиска нового периода мы использовали фотометрию, полученную на спутнике HIPPARCOS. Один из найденных фотометрических периодов 1.756 суток (см. рис. 1) хорошо описывает также и наши магнитные наблюдения (см. рис. 2).

Лучевые скорости, полученные в 2013–2015 гг., систематически отличаются от результатов 2004 г. Мы не нашли в литературе других сведений об измерениях лучевой скорости HD 5601. На основании наших данных можно сделать вывод об обнаружении указаний на двойственность звезды с характерным орбитальным периодом больше десятков лет.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Определение параметров атмосферы звезды выполнялось в два этапа с использованием данных фотометрии и спектроскопии.

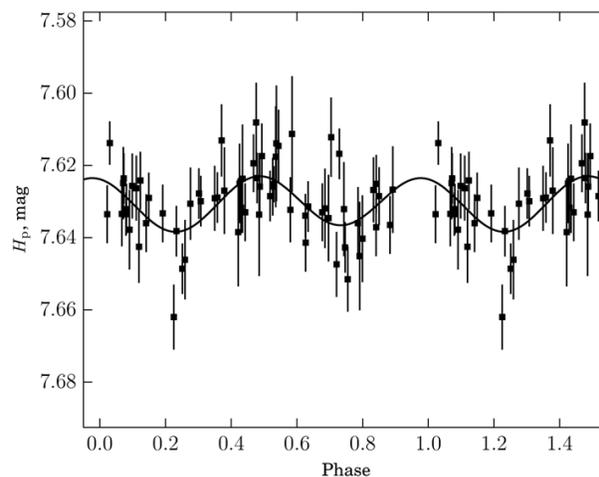


Рис. 1. Фотометрия HD 5601 по наблюдениям на спутнике HIPPARCOS с периодом 1.756 суток. Гармоническая кривая проведена методом наименьших квадратов.

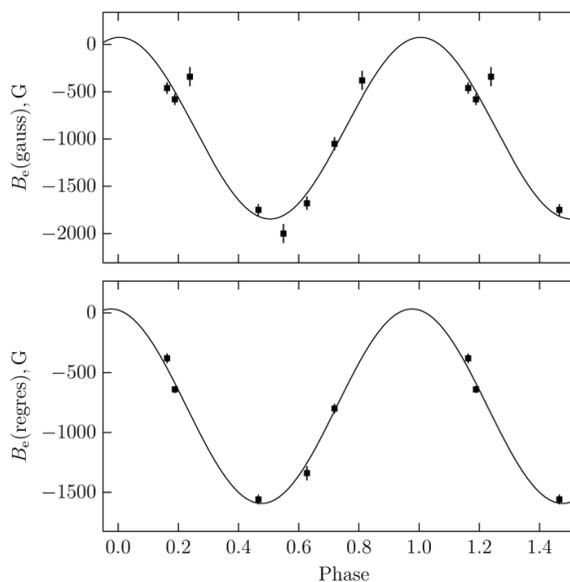


Рис. 2. Переменность продольного поля B_e (классический метод — сверху и метод регрессии — внизу) с периодом 1.756 суток. Гармонические кривые проведены методом наименьших квадратов.

На первом этапе применялся фотометрический метод. Мы воспользовались калибровками фотометрической системы *uvbyβ*. Калибровки, которые реализованы в программе UVBYBETA_NEW [14], дают значения эффективной температуры и ускорения силы тяжести $T_{\text{eff}}[c1] = 10\,890$ К, $T_{\text{eff}}[u - b] = 10\,270$ К и $\lg g = 4.03$. При использовании калибровок из работ [15, 16], реализованных в программе TempLogG_TNG [17], значения эф-

фактивной температуры и ускорения силы тяжести равны соответственно $T_{\text{eff}} = 9900 \text{ K}$ и $\lg g = 4.05$. Как видим, имеются существенные различия в полученных оценках эффективной температуры.

На втором этапе мы провели сравнение наблюдаемого профиля линии $H\beta$ с теоретическим в сетке синтетических спектров методом наименьших квадратов. При температуре $T_{\text{eff}} > 9000 \text{ K}$ профиль линии $H\beta$ чувствителен не только к изменению температуры, но и к ускорению силы тяжести. Таким образом, чтобы определить оба параметра, необходимо зафиксировать один из них и далее методом последовательных итераций подогнать искомые параметры до наилучшего согласия с наблюдаемым профилем водородной линии.

В качестве наблюдаемых использовались спектры, полученные на ОЗСП БТА в период 2012–2015 гг. (см. таблицу 1). Для достижения большей точности профиля линии $H\beta$ мы сложили спектры за все пять ночей наблюдений и получили суммарный профиль $H\beta$ с отношением S/N равным 500.

Данным методом были определены значения эффективной температуры и ускорения силы тяжести $T_{\text{eff}} = 10\,200 \pm 200 \text{ K}$ и $\lg g = 3.4 \pm 0.3$. Величина $\lg g$, определенная спектральным методом, оказывается существенно меньшей обычных для пекулярных звезд величин. По-видимому, для более точного определения параметров атмосферы HD 5601 необходимо провести дополнительные исследования.

Здесь мы решили усреднить все значения, полученные по фотометрии и спектроскопии, что дает нам следующие параметры звезды: $T_{\text{eff}} = 10\,300 \pm 350 \text{ K}$ и $\lg g = 3.7 \pm 0.3$.

Далее мы определили параметры вращения звезды. Для того чтобы исключить влияние магнитного поля, мы измерили проекцию скорости вращения звезды на луч зрения $v \sin i$ по нескольким линиям с малым фактором Ланде. Мы получили $v \sin i = 21 \text{ км с}^{-1}$. Найденная величина находится на пределе разрешения наших спектров, поэтому она может быть меньшей. Для более точного ее определения необходимо получить спектры с более высоким разрешением.

Оценку химического состава звезды мы выполняли методом синтетических спектров, зафиксировав параметры эффективной температуры и ускорения силы тяжести, которые были определены ранее. Расчет синтетического спектра выполнялся при помощи программы SYNTHMAG [18] с использованием атомных данных, полученных из базы данных VALD3 [19].

Вычисление моделей атмосфер с масштабированной солнечной металличностью проводилось в

программе Atlas9 [20]. При расчете синтетических спектров использовалось ЛТР-приближение и учитывалось наличие магнитного поля.

Результаты определения химического состава звезды помещены в таблице 2. В колонках приведены: элемент и ион, принятое солнечное содержание, найденное содержание на звезде, ошибка определения, количество используемых линий N . Ошибки определения вычислялись как среднеквадратические отклонения от среднего арифметического значения.

Химический состав типичен для пекулярных звезд. Отмечается дефицит содержания гелия почти на порядок. Углерод, кислород, магний и алюминий имеют содержание, близкое к солнечному. Титан, железо и никель усилены на порядок, кремний, хром и марганец усилены на два порядка, кобальт — на три порядка величины. Содержание редкоземельных элементов увеличено в среднем на 2–3 порядка.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Используя найденные нами параметры звезды, мы определили ее радиус $R = 2.66 \pm 0.42 R_{\odot}$ и светимость $\lg \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right) = 1.83 \pm 0.09$ по эволюцион-

ным трекам. По известной формуле $v_e = 50.6 \frac{R}{P}$ получено, что экваториальная скорость вращения звезды v_e составляет 77 км с^{-1} . Так как $v \sin i = 21 \text{ км с}^{-1}$, угол наклона оси вращения к лучу зрения $i = 17^{\circ}$, а по причинам, указанным выше, возможно, и еще меньше.

Мы предприняли попытку построить магнитную модель HD 5601. Для этого методом подбора параметров (i , β , B_p) мы построили сетку расчетных кривых B_e и сравнили с наблюдаемой кривой B_e . β — угол наклона оси магнитного диполя к оси вращения звезды.

Наилучшее совпадение достигается при значениях углов $i = 20^{\circ}$ и $\beta = 116^{\circ}$. Величина поля на полюсе диполя $B_p = 10 \text{ кГс}$.

Мы видим, что полученные двумя способами величины i практически совпадают.

Из-за особенностей пространственной ориентации звезды (угол наклона оси вращения к лучу зрения i небольшой) наблюдались в основном околоядерные области поверхности, поэтому ожидать значимой фотометрической переменности нельзя, даже если пятна на поверхности присутствуют в большом количестве.

Отсутствие значительной фотометрической переменности HD 5601 мы наблюдаем и на практике (см. рис. 1).

Таблица 2. Результаты измерения химического состава звезды HD 5601

Элемент, ион	$\lg \left(\frac{N}{N_{\text{total}}} \right)_{\text{sun}}$	$\lg \left(\frac{N}{N_{\text{total}}} \right)_{\text{star}}$	σ	N
He I	-1.11	-1.80		1
C I	-3.52	-3.30	0.20	5
O I	-3.21	-3.61	0.33	4
Mg I	-4.46	-4.30		1
Mg II	-4.46	-4.20	0.33	3
Al II	-5.57	-5.57		1
Si II	-4.49	-2.60	0.15	5
Si III	-4.49	-2.75	0.25	2
S II	-4.71	-4.00	0.41	2
Ca I	-5.68	-4.90		1
Sc II	-8.87	-8.20		3
Ti II	-7.02	-6.50	0.28	21
V II	-8.04	-6.73	0.23	5
Cr II	-6.37	-4.10	0.33	31
Mn I	-6.65	-4.63	0.16	4
Mn II	-6.65	-4.54	0.16	13
Fe I	-4.54	-3.31	0.17	12
Fe II	-4.54	-3.22	0.25	56
Co II	-7.12	-4.05	0.33	4
Ni I	-5.79	-4.20		1
Ni II	-5.79	-4.20	0.24	5
Zr II	-9.44	-8.00		1
Ba II	-9.91	-9.40		2
La II	-10.87	-7.99	0.56	7
Pr II	-11.33	-7.35	0.32	3
Pr III	-11.33	-7.22	0.27	9
Nd III	-10.54	-7.54	0.43	12
Sm II	-11.03	-7.79	0.63	15
Eu II	-11.53	-9.33	0.75	3
Gd II	-10.92	-9.92		2
Er II	-11.11	-8.30	0.52	3
Er III	-11.11	-8.11	0.32	6
Hf II	-11.16	-7.60	0.49	4

Угол $\beta = 116^\circ$ указывает на то, что ось магнитного диполя практически перпендикулярна оси вращения. Т.е. земной наблюдатель видит практически поперечное магнитное поле с небольшим вкладом продольной компоненты B_e , немного меняющейся с вращением звезды. Поэтому, хотя поле на полюсе диполя достигает 10 кГс, кривая продольного поля B_e меняется в пределах от -300 Гс до -2000 Гс в полном согласии с предлагаемой выше картиной.

Сравнение рис. 1 и 2 показывает, что максимумы блеска фотометрической переменности совпадают с экстремумами кривой изменения поля. Это наводит на мысль, что у HD 5601 магнитные полюса разогреты по сравнению с экваториальными областями. Видимо, на полюсах вследствие магнитной сепарации химических элементов меняется структура полярных областей в направлении их разогрева. Подобное явления давно известно среди химически пекулярных звезд и многократно описано (см. обзор Романюка [21]). Появились первые работы, указывающие на существовании этого явления среди белых карликов с сильными магнитными полями (например, [22, 23]).

Для подтверждения модели поля HD 5601 необходимо провести спектрополяриметрические наблюдения с высоким спектральным разрешением для поиска расщепленных зеемановских компонент. Из-за того что мы наблюдаем практически одну и ту же область звезды в области полюса вращения и магнитного экватора, вряд ли целесообразно использовать методы магнитного картирования для изучения более детальной топологии ее магнитного поля.

Таким образом, мы приходим к заключению, что HD 5601 является звездой с сильным магнитным полем, достигающим до 10 кГс на полюсе магнитного диполя. Наблюдения удастся описать простой дипольной моделью поля. Химический состав атмосферы в первом приближении типичен для магнитных Ар-звезд, однако нуждается в более детальном изучении.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Российскому научному фонду за финансовую поддержку настоящей работы (грант РФФ 14-50-00043) и Комитету по тематике больших телескопов РАН за предоставление наблюдательного времени. Наблюдения на 6-м телескопе БТА проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение No. 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004). Авторы признательны Т. А. Рябчиковой (ИНАСАН РАН) за предоставление возможности работать с программой расчета синтетических спектров с учетом магнитного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, V. G. Elkin, and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **372**, 1804 (2006).
2. H. W. Babcock, *Astrophys. J. Suppl.* **3**, 141 (1958).
3. I. McDonald, A. A. Zijlstra, and M. L. Boyer, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427**, 343 (2012).
4. H. Hensberge, G. Deridder, C. Doom, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **46**, 151 (1981).
5. F. A. Catalano and P. Renson, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **127**, 421 (1998).
6. Y. V. Glagolevskij, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **38**, 152 (1994).
7. P. Renson and J. Manfroid, *Astron. and Astrophys.* **498**, 961 (2009).
8. E. Paunzen, C. Stütz, and H. M. Maitzen, *Astron. and Astrophys.* **441**, 631 (2005).
9. P. North and N. Cramer, *Astron. and Astrophys.* **58**, 387 (1984).
10. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and G. A. Solov'ev, *Astrophysical Bulletin* **62**, 147 (2007).
11. Y. Y. Balega, V. V. Dyachenko, A. F. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 44 (2012).
12. I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, and I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **70**, 456 (2015).
13. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **70**, 444 (2015).
14. R. Napiwotzki, D. Schoenberner, and V. Wenske, *Astron. and Astrophys.* **268**, 653 (1993).
15. T. T. Moon and M. M. Dworetsky, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **217**, 305 (1985).
16. M. M. Dworetsky and T. T. Moon, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **220**, 787 (1986).
17. A. Kaiser, *ASP Conf. Ser.* **349**, 257 (2006).
18. O. P. Kochukhov, in *Physics of Magnetic Stars*, Ed. by I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, O. M. Neizvestnaya, and V. M. Shapoval (Spec. Astrophys. Obs., Nizhnii Arkhyz, 2007), pp. 109–118.
19. T. Ryabchikova, N. Piskunov, R. L. Kurucz, et al., *Physica Scripta* **90**, 054005 (2015).
20. F. Castelli and R. L. Kurucz, *ArXiv:astro-ph/0405087* (2004).
21. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **62**, 62 (2007).
22. G. Valyavin, K. Antonyuk, S. Plachinda, et al., *Astrophys. J.* **734**, 17 (2011).
23. G. Valyavin, D. Shulyak, G. A. Wade, et al., *Nature* **515**, 88 (2014).

Magnetic Stars with Wide Depressions in the Continuum. 1. The Ap Star with Strong Silicon Lines HD 5601

I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, and A. V. Moiseeva

Based on observations with the 6-m SAO RAS telescope, we have found that chemically peculiar star with a large depression of the continuum at $\lambda 5200 \text{ \AA}$ and strengthened silicon lines in the spectrum has a strong magnetic field. The longitudinal field component B_e has a negative polarity and varies from -300 G to -2000 G with a period of 1.756 days. Photometric variations of brightness take place with the same period. We determined the variability of the radial velocity at times of about tens of years pointing to a possible binarity of the object. We have built a magnetic model of this star, determined the inclination angles of the rotation axis to the line of sight $i = 20^\circ$ and of the dipole axis to the rotation axis $\beta = 116^\circ$, and the field strength at the pole is $B_p = 10 \text{ kG}$. We carried out a chemical composition analysis and found a lack of helium for almost an order of magnitude, some overabundance of silicon and metal elements for more than an order of magnitude, particularly, cobalt for three orders of magnitude.

Keywords: *stars: magnetic field—stars: chemically peculiar—stars: individual: HD 5601*