

УДК 524.35-337

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СР-ЗВЕЗД АССОЦИАЦИИ ORI OB1. II. HD 36540, HD 36668, HD 36916, HD 37058.

© 2017 И. И. Романюк\*, Е. А. Семенко, И. А. Якунин, Д. О. Кудрявцев, А. В. Моисеева

*Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 21 февраля 2017 года; принята в печать 3 марта 2017 года

В статье приведены результаты измерений магнитного поля четырех химически пекулярных (СР) звезд с аномалиями содержания гелия — членов ассоциации Ori OB1. Принадлежность рассмотренных звезд к классу магнитных была установлена ранее другими авторами. Настоящая работа содержит результаты расширенного изучения звезд. Измерения магнитного поля позволяют заключить, что HD 36540 — звезда со слабым полем, продольный компонент  $B_e$  не превышает 500 Гс. Продольное поле HD 36668 меняется с периодом  $P = 2^d 11884$  и с амплитудой от  $-2$  до  $+2$  кГс. Магнитное поле звезды HD 36916 имеет в основном отрицательную полярность и меняется в пределах от 0 до  $-1$  кГс с периодом  $P = 1^d 565238$ . HD 37058 — магнитная звезда, продольное поле которой меняется от  $-1.2$  до  $+0.8$  кГс с периодом  $P = 14^d 659$ . Характер переменности поля  $B_e$  у звезд HD 36916 и HD 37058 имеет простой гармонический вид. Продольное поле HD 36668 лучше всего описывается комбинацией из двух гармонических функций («двойная волна»). Период переменности HD 36540 остается неопределенным. Для всех звезд в настоящей работе измерены лучевые скорости  $V_r$ , проекции скорости осевого вращения  $v_e \sin i$  и определены фундаментальные параметры атмосфер (эффективная температура  $T_{\text{eff}}$ , ускорение силы тяжести  $\lg g$ ). Отдельно сделаны оценки для массы  $M$ , светимости  $L$  и радиуса  $R$  звезд.

Ключевые слова: *звезды: магнитное поле — звезды: химически пекулярные — звезды: индивидуальные HD 36540, HD 36668, HD 36916, HD 37058*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Мы продолжаем исследование магнитного поля и других физических параметров химически пекулярных (СР-звезд) ассоциации Ori OB1. Научное обоснование и цели работы подробно изложены в первой статье серии [1].

Здесь кратко напомним, что программа изучения массивных магнитных звезд на телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН была предложена нами в 2010 г. [2]. Ее основная цель — исследование механизмов образования и эволюции магнитных полей этих объектов. Решить задачу можно путем изучения величины и строения звездных магнитных полей, встречающихся на разных стадиях эволюции звезд. Одна из главных трудностей на этом пути состоит в низкой точности определения возраста исследуемых звезд в случаях, когда они не входят в состав групп, скоплений, или нет других факторов, позволяющих однозначно оценить возраст. Для звезд поля типичные ошибки определения возраста могут превышать 100% (детиали см. в работе [1]).

В работе [2] нами показано, что частота встречаемости массивных СР-звезд Главной последовательности в рассеянных скоплениях и ассоциациях примерно в два раза выше, чем в поле Галактики. Мы решили использовать это благоприятное обстоятельство и соответствующим образом составили программу изучения магнитных полей массивных СР-звезд. За счет хорошей точности определения возраста звезд из состава рассеянных скоплений и других группировок можно попытаться найти закономерности, связанные с эволюцией их магнитных полей и химического состава.

Мы начали нашу работу с изучения СР-звезд ассоциации Ori OB1 [3], богатой массивными O- и B-звездами, многие из которых видны невооруженным глазом. Опираясь на литературные данные, мы выделили в ассоциации 85 СР-звезд разных типов, среди которых 62 — это потенциально магнитные Ap/Bp-звезды, а 23 — Am-звезды без магнитного поля. Упомянутые 62 объекта мы включили в программу наблюдений на 6-м телескопе.

Следует отметить, что до начала нашего проекта 17 СР-звезд ассоциации уже были известны как

\*E-mail: roman@sao.ru

магнитные. У большинства из них магнитное поле было найдено канадским астрономом Э. Борра [4] при помощи бальмеровского магнитометра. К сожалению, данные о моментах наблюдений им не были опубликованы, а кривые переменности продольного поля с фазой периода вращения не построены. По этой причине мы не можем использовать результаты Э. Борра для нашего анализа.

Систематические наблюдения магнитных полей звезд в Орионе в рамках нашего исследования продолжают. К настоящему моменту получен наблюдательный материал разной степени полноты почти для всех объектов ассоциации, значительная часть данных уже обработана и анализируется. В первой работе серии [1] были представлены результаты для четырех звезд ассоциации. Данная статья продолжает серию и содержит результаты измерения магнитного поля и других физических параметров еще четырех звезд: HD 36540, HD 36668, HD 36916, HD 37058, у которых магнитное поле было найдено ранее. Звезда HD 36668 принадлежит подгруппе (b) ассоциации возрастом  $\lg t = 6.2$ , а остальные — более старой ( $\lg t = 6.6$ ) подгруппе (c).

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПОЛЯ

Наблюдения выполнены в 2010–2016 гг. на Основном звездном спектрографе (ОЗСП) телескопа БТА [5]. Спектры были получены с применением анализатора круговой поляризации конструкции Г. А. Чунтонова [6]. В качестве светоприемника использовалась ПЗС-матрица E2V CCD 42-90 форматом  $4600 \times 2048$  элементов.

Измерения величины продольного магнитного поля ( $B_e$ ) звезд выполнялись в большинстве случаев двумя методами: классическим, основанным на измерении сдвига центров тяжести ортогонально поляризованных зеемановских компонент (модификация метода Бэбкока [7], реализована Д. О. Кудрявцевым [8]), и методом регрессии, описанным в работе Баньюло и др. [9]. Следует отметить, что в случае спектров с узкими линиями оба метода дают одинаковые результаты (например, Романюк и др. [10]), но в то же время для звезд с широкими и сложными профилями линий имеются значительные различия (например, Якунин [11]). Как правило, продольное поле быстрых ротаторов, измеренное методом регрессии, оказывается существенно меньшим.

Более детально используемые методы обработки и анализа спектров, полученных с зеемановским анализатором, описаны в статье [1].

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Ниже мы представляем результаты измерений продольного магнитного поля  $B_e$  для каждой из четырех звезд. Данные о магнитном поле дополняют измерения лучевой скорости  $V_r$  и проекции скорости вращения звезд на луч зрения  $v_e \sin i$ . Отдельно для всех объектов выборки были сделаны оценки величины эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$ , ускорения силы тяжести  $\lg g$ , светимости  $\lg L$ , радиуса  $R$  и массы  $M$ .

$$3.1. HD 36540 = HIP 25954 = \\ Renson 9480 = Brown 106c$$

### 3.1.1. Краткие сведения об объекте

Звезда HD 36540 спектрального класса B7 с ослабленными линиями гелия (He-wk [12]) принадлежит подгруппе (c) ассоциации Oгi OB1 возрастом  $\lg t = 6.6$ .

Согласно опубликованным данным о магнитном поле звезды (четыре измерения в работе [4]), экстремумы продольной компоненты равны  $-400$  Гс и  $+1030$  Гс. Среднеквадратическое поле  $\langle B_e \rangle = 470 \pm 220$  Гс.

Излучение звезды сильно поляризовано, поскольку она находится в Большой туманности Ориона (Papeago 867) [13]: линейная поляризация  $P$  в видимой области спектра достигает  $1.64\%$  [14]. Также большое поглощение наблюдается в направлении на HD 36540:  $A_V = 0.59$  зв. вел.

Норт [15] нашел фотометрическую переменность звезды. Он показал, что все цвета используемой им Женевской фотометрической системы меняются синфазно в виде квазисинусоиды с элементами:

$$HJD(\text{min}) = 2444977.577 + (2^{\text{d}}1709 \pm 0^{\text{d}}0029) E.$$

Звезда неоднократно становилась объектом исследований. Попытка изучения звезды была принята Топильской [16]. Ею была определена эффективная температура ( $T_{\text{eff}} = 15\,400$  К), ускорение силы тяжести ( $\lg g = 3.41$ ) и химический состав. По данным работы [16] дефицит гелия достигает почти двух порядков. Растегаев и др. [17] нашли спутник (слабее на 2 зв. вел.) на расстоянии 2 угловые секунды от главной звезды. Другие литературные сведения о звезде можно найти в работе [3]. Стоит отметить, что в литературе наблюдается большой разброс значений эффективной температуры (от  $12\,000$  до  $16\,000$  К), и в этой связи новое определение  $T_{\text{eff}}$  представляется нам актуальным.

### 3.1.2. Результаты измерения магнитного поля и лучевой скорости

В 2010–2012 гг. на телескопе БТА нами были получены четыре спектра HD 36540 с зеемановским анализатором. Еще одно измерение поля было сделано авторами работы [18] на основе наблюдений на спектрополяриметре FORS1 ESO в Чили.

Спектральные линии звезды уширены вращением и имеют сложные профили. Измерения продольного поля по сдвигам центров тяжести ортогонально поляризованных компонент затруднены из-за малой глубины многочисленных линий, что приводит к большому рассеянию данных. Результаты измерения поля  $B_e$  по методу регрессии оказываются более устойчивыми, поскольку влияние сложных профилей линий оказывается меньшим. Поэтому при изучении магнитного поля звезд, аналогичных HD 36540, методу регрессии следует отдавать предпочтение.

Все имеющиеся у нас результаты измерений поля представлены в таблице 1. В колонках таблицы приведены: юлианская дата наблюдений, отношение  $S/N$  спектров, продольное магнитное поле  $B_e$ , определенное по сдвигу поляризованных компонент и по методу регрессии, а также лучевая скорость  $V_r$ , полученная из наших спектров. Первая строка таблицы ( $JD = 2452854.57$ ) содержит результат измерения поля, полученный в работе [18] из анализа  $V$ -параметра Стокса.

Видно, что измерения по линиям металлов, выполненные классическим способом, приводят к очень большим неопределенностям, поэтому имеет смысл анализировать только значения, полученные методом регрессии. Измерения поля из работы [18] выполнены на основании анализа  $V$ -параметра Стокса разных линий, поэтому мы их включили в колонку с результатами применения метода регрессии.

Попытки построения фазовой кривой  $B_e$  с периодом вращения, приведенном в работе [15], так же, как и с близкими к нему периодами, определенными из анализа фотометрии спутника HIPPARCOS ( $P_1 = 2^d172$ ,  $P_2 = 1^d8437$ ) и обзора ASAS3 ( $P_1 = 2^d1723$ ,  $P_2 = 1^d8437$ ), к успеху не привели.

Параметр  $\langle B_e \rangle$  (среднее квадратическое поле, методика его определения описана в работе [1]) позволяет оценить достоверность существования поля у звезды в случае разрозненных наблюдений, где нет возможности построить фазовую кривую, что имеет место в нашем случае. Для HD 36540  $\langle B_e \rangle = 245 \pm 58$  Гс, найденная величина поля значимо превышает ошибки его измерений.

Таким образом, подтверждается вывод Борра [4], что HD 36540 относится к классу магнитных

В-звезд, однако нам не удалось построить фазовую кривую продольного поля. Ответ на вопрос о значении периода вращения требует новых измерений продольного магнитного поля или новой обработки данных имеющейся фотометрии.

По аналогии с измерениями, проведенными в работе [1], мы попытались выполнить имитацию наблюдений на бальмеровском магнитометре Ландстрита и попробовать воспроизвести результаты, полученные в работе [4]. В случае сильных полей, когда явно видны зеемановские особенности в спектральных линиях, такую оценку выполнить можно. Однако для HD 36540 промоделировать наблюдения Борра [4] и измерить круговую поляризацию в линии водорода  $H\beta$  не удалось. Наш наблюдательный материал получен с отношением  $S/N$ , недостаточным для измерения слабого поля по одной линии.

В итоге делаем вывод, что HD 36540 имеет достаточно слабое магнитное поле, верхний предел продольной компоненты  $B_e$  которого не превышает 1 кГс.

Из таблицы 1 также следует, что в пределах ошибок измерения лучевая скорость звезды во время наблюдений в 2010–2012 гг. оставалась постоянной со средним значением  $V_r = +33.1 \pm 2.3$  км с<sup>-1</sup>.

### 3.1.3. Определение физических параметров

Путем сравнения профилей нескольких спектральных линий синтетического и наблюдаемого спектров был проведен анализ физических свойств звезды. Так, мы измерили проекцию скорости вращения на луч зрения  $v_e \sin i = 80 \pm 5$  км с<sup>-1</sup>. Моделированием профиля линии водорода  $H\beta$  найдена была также эффективная температура звезды  $T_{\text{eff}} = 14600 \pm 200$  К и ускорение силы тяжести  $\lg g = 4.0 \pm 0.2$ . По фотометрическим калибровкам получается близкое значение  $T_{\text{eff}} = 14800$  К ([19, 20]).

Мы оцениваем радиус  $R$  равным  $3.2 \pm 0.6$  радиусов Солнца и массу  $M = 4.5 \pm 0.5$  масс Солнца. Светимость звезды  $\lg L/L_{\odot} = 2.8 \pm 0.2$ . Калибровки взяты из работ [21, 22].

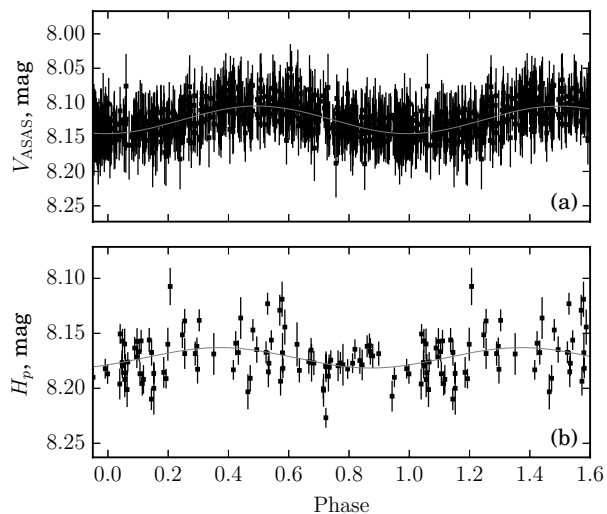
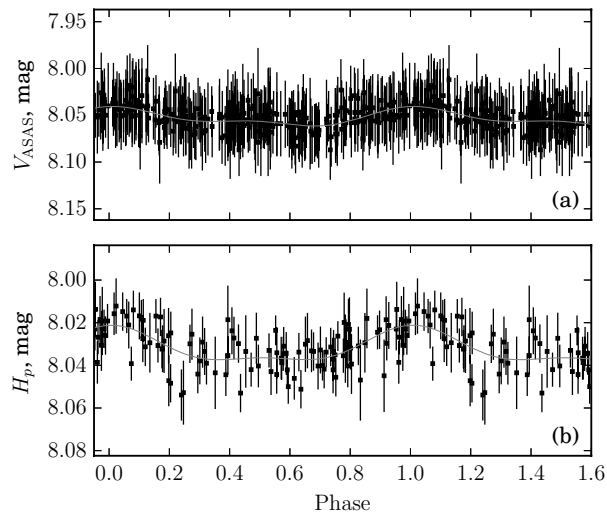
Используя известную формулу

$$v_e = \frac{50.6 R}{P}, \quad (1)$$

где  $R$  — радиус звезды и  $P$  — период ее вращения, находим, что экваториальная скорость вращения  $v_e$  должна быть равна  $75$  км с<sup>-1</sup> при периоде  $2.17$  суток и  $v_e = 88$  км с<sup>-1</sup> — при периоде  $1.84$  суток. Так как по нашим оценкам  $v_e \sin i = 80$  км с<sup>-1</sup>, то период  $2.17$  суток представляется неприемлемым. По этой причине примем в качестве правильного более короткий период вращения HD 36540

Таблица 1. Результаты измерений продольного магнитного поля и лучевой скорости HD 36540

JD (2450000+)	$S/N$	$B_e(\text{zeeman}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{regr}) \pm \sigma$ , Гс	$V_r \pm \sigma$ , км с $^{-1}$
2854.570	70	—	$+280 \pm 60$	—
5553.357	310	$+400 \pm 250$	$+320 \pm 120$	$31.4 \pm 3.7$
5873.558	210	$+550 \pm 420$	$-400 \pm 160$	$31.6 \pm 3.6$
5962.404	160	$+360 \pm 280$	$-120 \pm 110$	$38.5 \pm 4.6$
5963.415	140	$+4300 \pm 3400$	$+110 \pm 110$	$31.3 \pm 3.8$

Рис. 1. Переменность блеска HD 36540 с периодом  $P = 1^{\text{d}}8437$  по данным фотометрии обзоров ASAS3 (a) и HIPPARCOS (b).Рис. 2. Фотометрическая переменность HD 36668 с элементами из работы [24]: HJD = 2444988.375 +  $2^{\text{d}}11884 E$ .

$P = 1^{\text{d}}8437$ . В таком случае  $\sin i = 0.91$  и угол  $i$  наклона оси вращения к лучу зрения равен  $65^\circ$ .

Фотометрические кривые по данным ASAS3 и HIPPARCOS с принятым нами периодом представлены на рис. 1.

Но все же нельзя исключать, что период вращения звезды может быть около  $P = 2^{\text{d}}17$ . Это возможно в том случае, если существуют дополнительные причины уширения спектральных линий (среди них — сильное магнитное поле), способные ложным образом увеличить значение  $v_e \sin i$ . У звезды HD 36540 мы признаков сильного поля не наблюдаем. Полагаем, что либо магнитное поле HD 36540 действительно слабое, либо угол  $\beta$  между осью вращения и осью диполя мал (слабо наклоненный ротатор), либо имеют место оба обстоятельства. В случае малого угла  $\beta$  мы наблюдаем в основном область магнитного экватора звезды, где регистрируемое нами продольное поле  $B_e$  проявляется слабо и измеряется с низкой точностью.

### 3.2. HD 36668 = HIP 26048 = Renson 9560 = Brown 031b

#### 3.2.1. Краткие сведения о звезде

HD 36668 — химически пекулярная звезда типа He-wk, Si [12] спектрального класса B7 — относится к подгруппе (b) ассоциации Ori OB1, возраст которой  $\lg t = 6.2$  [1].

По данным спутника HIPPARCOS Параллакс звезды равен 4.02 миллизекунд дуги, что соответствует расстоянию примерно 250 пк. В работе [1] мы усомнились, что расстояние до HD 36668 так мало и оценили его в 400 пк.

Топильская в работе [16] определяла физические параметры и химический состав HD 36668. Согласно ее результатам, эффективная температура звезды  $T_{\text{eff}} = 11\,700$  К, ускорение силы тяжести  $\lg g = 3.20$ , а химический состав характеризуется дефицитом гелия (на два порядка) и нормальным содержанием кремния. Однако значение  $\lg g = 3.20$  представляется нам заниженным, так как противоречит молодому возрасту звезды.

Анализ фотометрической переменности звезды был выполнен Нортм [15]. Он нашел, что изменение блеска звезды происходит в виде двойной волны, вторичный максимум которой почти такой же большой, как и главный. Для описания переменности Норт приводит следующие элементы:

$$\text{HJD}(\min) = 2444988.496 + (2^{\text{d}}1211 \pm 0^{\text{d}}026) E.$$

Первые измерения магнитного поля звезды выполнил Борра [4]. Всего им было сделано шесть измерений  $B_e$ , которые показали экстремумы  $+1320$  Гс и  $-1590$  Гс. Бычков и др. в работе [23] представили кривую, где продольное магнитное поле меняется от  $-1$  кГс до  $+1$  кГс с периодом  $P = 2^{\text{d}}1211$ , согласно статье [15]. В качестве источника данных о магнитном поле звезды авторы приводят частное сообщение Борра.

В то же время Адельманом [24] было предложено несколько отличное значение периода. Величина  $P = 2^{\text{d}}11884$  была получена по данным четырехцветной фотометрии звезды, выполненной автором. Он, в частности, подтверждает существование двойной волны в кривой блеска звезда. Притом в цвете  $u$  вторичный максимум также хорошо выражен, как и главный, в то время как в трех других цветах вторичный максимум значительно слабее. Адельман приводит следующие элементы зависимости, описывающей изменения блеска HD 36668:

$$\text{HJD}(u_{\max}) = 2444988.375 + 2^{\text{d}}11884 E.$$

Мы сравнили фотометрию из работы [24] с данными HIPPARCOS и обзора ASAS3 с целью понять, насколько хорошо они согласуются между собой. Полученные кривые фотометрии (рис. 2) в основных чертах, за исключением цвета  $u$ , напоминают три кривые из работы [24]: широкий минимум блеска в фазах 0.2–0.8 и хорошо выраженный максимум в фазе 0.0 в полном согласии с цитируемой выше работой.

### 3.2.2. Результаты измерения магнитного поля и лучевой скорости

С целью измерения продольного магнитного поля звезды HD 36668 мы выполнили восемь наблюдений. Результаты измерений представлены в таблице 2. В ней приняты те же обозначения, что и в таблице 1, за исключением одного дополнения: колонка  $B_e(H)$  содержит значения продольного поля, полученные из анализа  $V$ -параметра Стокса в крыльях водородной линии  $H_\beta$ . Графики изменения продольной компоненты поля с фазой, рассчитанной для периода  $2^{\text{d}}11884$ , приведены на рис. 3.

С учетом наших результатов среднее квадратическое поле  $\langle B_e \rangle$  получается равным  $1837 \pm 170$  Гс, если рассматривать только данные, полученные

позиционным методом, и  $\langle B_e \rangle = 946 \pm 44$  Гс — с использованием метода регрессии [9].

Наилучшим образом переменность продольной компоненты  $B_e$  можно описать суммой двух гармонических функций. Амплитуды зависимостей на рис. 3 существенно отличаются, но во всех случаях отрицательная полуволна более широкая, и просматривается вторичный максимум на фазе около 0.6–0.7, соответствующей главному минимуму в цвете  $u$  на кривой Адельмана [24]. Главный максимум приходится на фазу около 0.2, совпадающую со вторичным минимумом во всех цветах кривой Адельмана. Отдельно необходимо прокомментировать измерения магнитного поля по крыльям линии водорода. Мы оцениваем ошибку определения поля  $B_e$  по одной линии в  $\pm 500$  Гс. Однако даже с учетом этого факта наша кривая  $B_e(H)$  повторяет основные черты двух других фазовых кривых продольного поля.

Литературные источники не содержат информации о двойственности звезды. Согласно нашим измерениям (таблица 2), лучевая скорость звезды испытывает некоторые колебания с характерным временем порядка нескольких лет. И в то же время среднее значение  $V_r = +33.7 \pm 1.4$  км с $^{-1}$  в пределах ошибок совпадает с величиной, представленной в базе SIMBAD ( $+35.5$  км с $^{-1}$ ). Ограниченный объем выполненных измерений лучевой скорости и малая амплитуда не дают нам оснований считать, что колебания лучевой скорости вызваны наличием звезды-компаньона.

### 3.2.3. Определение физических параметров

Звезда HD 36668 относится к группе относительно быстрых ротаторов. Наши измерения показывают, что проекция скорости вращения на луч зрения  $v_e \sin i$  составляет  $70 \pm 3$  км с $^{-1}$ . Результат был получен путем усреднения значений  $v_e \sin i$ , определенных по нескольким линиям, при сравнении синтетического спектра с наблюдаемым.

Аналогично тому, как это было нами сделано в разделе 3.1.3 для звезды HD 36540, была найдена эффективная температура  $T_{\text{eff}} = 12\,500 \pm 200$  К и ускорение силы тяжести  $\lg g = 3.8 \pm 0.2$  звезды HD 36668. Также мы оценили ее радиус  $R = 2.8 \pm 0.6$ , массу  $M = 3.2 \pm 0.5$  и светимость  $\lg L = 2.0 \pm 0.2$  в солнечных единицах.

Подставив значения периода вращения и радиуса звезды в формулу (1), мы находим скорость вращения звезды на экваторе  $v_e = 67$  км с $^{-1}$ , которая в пределах ошибок совпадает с величиной  $v_e \sin i$ . Следовательно, угол  $i$  близок к  $90^\circ$ , т.е. ось вращения перпендикулярна лучу зрения.

В предыдущем разделе мы показали, что зависимость величины продольной компоненты

Таблица 2. Результаты измерения продольного магнитного поля и лучевой скорости HD 36668

JD (2450000+)	S/N	$B_e(\text{zeeman}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{regr}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{H})$ , Гс	$V_r \pm \sigma$ , км с <sup>-1</sup>
5582.364	240	-1100 ± 240	-580 ± 180	-2200	+30.9 ± 4.6
5583.312	310	-1610 ± 230	-1200 ± 210	-2300	+29.8 ± 3.8
5842.478	300	-1170 ± 350	-1140 ± 150	-2100	+38.6 ± 4.7
5962.327	300	+2160 ± 180	+1140 ± 50	-	+38.1 ± 4.7
5963.277	300	-1010 ± 790	-920 ± 66	-	+33.4 ± 3.3
7288.565	200	+2060 ± 350	+1030 ± 80	+2500	+36.0 ± 2.1
7289.556	240	-1640 ± 340	-510 ± 210	-1400	+31.1 ± 4.0
7290.513	230	+1420 ± 430	+430 ± 340	+1200	+32.4 ± 1.1

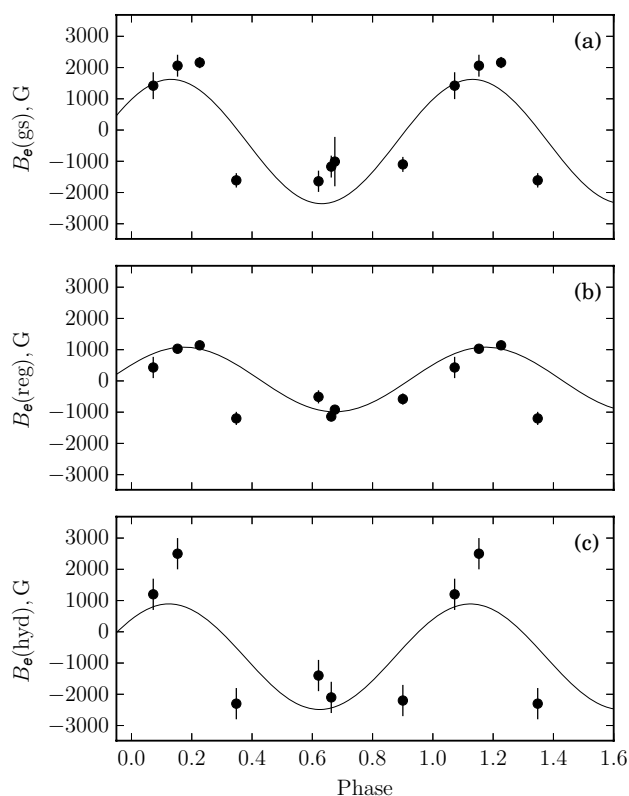


Рис. 3. Переменность продольной компоненты поля звезды HD 36668 с элементами из [24]: HJD = 2444988.375 + 2<sup>d</sup>.11884. Фазовые кривые  $B_e$  представлены по измерениям, выполненным (а) классическим методом [8], (б) методом регрессии [9], (с) по линии H $\beta$ .

магнитного поля  $B_e$  от фазы вращения отличается от синусоиды, как это должно быть в случае простой дипольной геометрии поля. Это указывает на сложное строение магнитного поля звезды. В настоящее время известно всего восемь CP-звезд с такими сложными кривыми и все они — массивные Bp-звезды — члены молодых рассеянных скоплений. В частности, в ассоциации Oг1 OB1 были уже найдены два таких

объекта: HD 37776 ( $\lg t = 6.2$  [25]) и HD 34736 ( $\lg t = 6.6$  [26]). HD 36668 относится к объектам подгруппы (b) со средним возрастом  $\lg t = 6.2$ . Интересно, что периоды вращения трех перечисленных звезд также близки. Обнаружение ещё одной звезды с аномальной, несинусоидальной, кривой переменности продольного поля в одной и той же молодой группировке свидетельствует

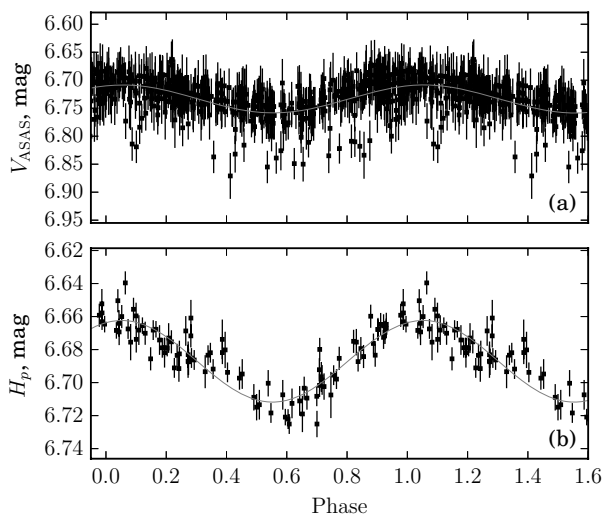


Рис. 4. Кривая переменности блеска HD 36916 по данным фотометрии HIPPARCOS с периодом  $1^{\text{d}}5652386$ .

в пользу неисключительной распространённости отмеченного явления.

В то же время требуются дополнительные наблюдения HD 36668 для получения детальной кривой продольного поля, необходимой для построения магнитной модели звезды. По-видимому, в некоторых местах на ее поверхности величина поля может значительно превышать 10 кГс, это следует из дипольного приближения. Учитывая относительно короткий период вращения звезды и умеренное уширение линий в ее спектре, HD 36668 нам видится хорошим кандидатом для доплеро-земановского картирования.

### 3.3. HD 36916 = HIP 26182 = Renson 9700 = Brown 133c

#### 3.3.1. Краткие сведения о звезде

Магнитная звезда HD 36916 спектрального класса V8r с ослабленными линиями гелия и усиленными — кремния [12] принадлежит ассоциации Ori OB1, подгруппа (c).

Вывод о дефиците гелия на два порядка и небольшом избытке кремния подтверждается в работе Топильской [16], которая определяла химический состав и эволюционный статус звезды. Она же нашла значения эффективной температуры и ускорения силы тяжести:  $T_{\text{eff}} = 13\,450\text{ K}$ ,  $\lg g = 3.40$ .

Как и рассмотренная нами ранее звезда HD 36540, HD 36916 находится в Туманности Ориона [13], но межзвездная (или околозвездная) поляризация в направлении на нее существенно меньше:  $P = 0.270\%$  [14]. Согласно каталогу переменных звезд в рассеянных скоплениях [27], HD 36916 является членом скопления

NGC 1981 — части ассоциации Ori OB1. Фотометрическую переменность звезды с периодом  $1^{\text{d}}56536$  нашел Норт [15]:

$$\text{HJD}(\text{min}) = 2444614.825 + (1^{\text{d}}56536 \pm 0^{\text{d}}0043) E.$$

Анализ данных фотометрии спутника HIPPARCOS позволяет уточнить период  $P = 1^{\text{d}}5652386$ , и мы видим хорошую кривую (рис. 4).

Магнитное поле звезды обнаружили Борра и др. [28]: два измерения продольного поля в 1980 г. на бальмеровском магнитометре дали величины  $B_e = -640\text{ Гс}$  и  $-615\text{ Гс}$ . Четверть века спустя на спектрополяриметре низкого разрешения FORS1 телескопа VLT Баньюло и др. [18] получили оценку  $B_e = -488 \pm 51\text{ Гс}$ . Наша серия наблюдений на 6-м телескопе CAO РАН была выполнена десятилетие спустя.

В базе данных SIMBAD приведена лучевая скорость звезды:  $V_r = +13.3 \pm 2.6\text{ км с}^{-1}$ , но, судя по индивидуальным измерениям, приведенным в VIZIER, есть основания предположить, что лучевая скорость меняется.

#### 3.3.2. Результаты измерения магнитного поля и лучевой скорости

В таблице 3 мы собрали все имеющиеся результаты измерения продольного магнитного поля звезды. Как и в предыдущем случае со звездой HD 36668, здесь мы также приводим оценки продольного магнитного поля, полученные измерением поляризации в крыльях линии водорода H $\beta$ . Данные в колонках таблицы 3 приведены по аналогии с таблицей 2. В комментариях указан источник данных. Литературные данные о магнитном поле из работ [18] и [28] мы включили в колонку с результатами использования метода регрессии, поскольку они были получены путем измерения  $V$ -параметра Стокса.

Средние квадратические значения продольного поля  $\langle B_e \rangle$  оказываются практически одинаковыми при использовании разных методов его измерения: классический метод дает  $\langle B_e \rangle = 554 \pm 170\text{ Гс}$ , а метод регрессии —  $\langle B_e \rangle = 491 \pm 60\text{ Гс}$ .

Так как магнитные наблюдения звезды проводились эпизодически на протяжении 35 лет с большими перерывами, то очевидно, что на основании только данных о величине  $B_e$  нельзя построить магнитную кривую. С другой стороны, если период определить альтернативным методом (например, по фотометрии), то его можно проверить надежным образом, используя длительные магнитные наблюдения.

На рис. 5 построены кривые переменности продольной компоненты поля, полученные

Таблица 3. Результаты измерения продольного магнитного поля и лучевой скорости HD 36916

JD (2400000+)	$S/N$	$B_e(\text{zeeman}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{regr}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{H})$ , Гс	$V_r \pm \sigma$ , км с <sup>-1</sup>	Комментарий
44328.536	—	—	$-640 \pm 190$	—	—	[28]
44331.526	—	—	$-615 \pm 165$	—	—	[28]
52885.542	—	—	$-488 \pm 51$	—	—	[18]
55554.348	330	$-950 \pm 150$	$-660 \pm 220$	-1000	$+22.2 \pm 2.7$	
55842.549	330	$-570 \pm 230$	$-360 \pm 150$	-500	$+26.6 \pm 3.8$	
55963.377	320	$+70 \pm 310$	$-170 \pm 60$	—	$+15.6 \pm 3.2$	
56590.506	350	$-1040 \pm 280$	$-610 \pm 170$	-1200	$+22.9 \pm 3.2$	
57289.604	240	$+190 \pm 460$	$-450 \pm 270$	+100	$+16.0 \pm 3.3$	
57290.545	400	$-800 \pm 250$	$-400 \pm 70$	-700	$+18.8 \pm 1.3$	

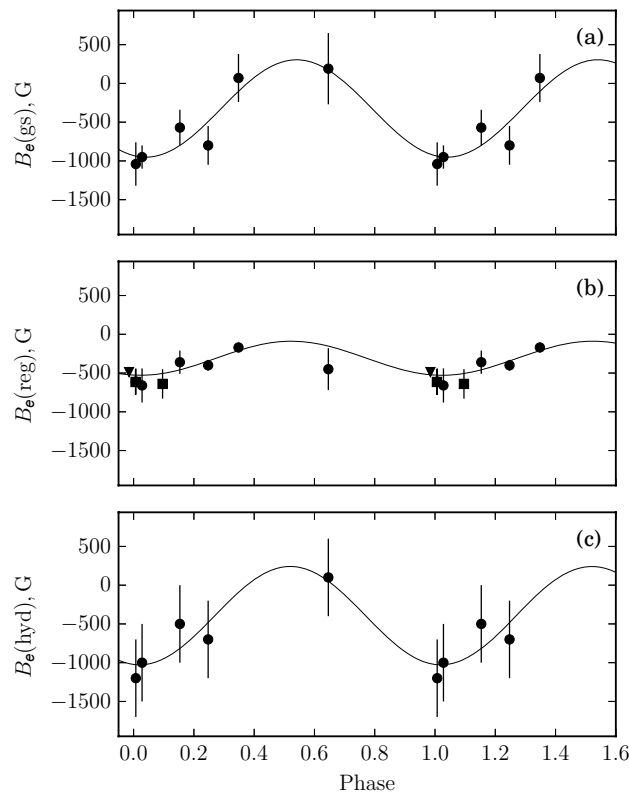


Рис. 5. Кривая переменности продольного поля HD 36916 по измерениям, выполненным классическим методом (а), методом регрессии (b), по линии  $H\beta$  (c). Элементы аналогичны приведенным на рис. 4. Перевернутыми треугольниками и квадратами представлены данные из работ [18] и [28] соответственно.

с указанным выше фотометрическим периодом  $P = 1^d 5652386$ . Верхний график на рис.5 соответствует измерениям, выполненным классическим способом, средний график представляет измерения методом регрессии, на нижнем представлены результаты измерения поля по линии водорода  $H\beta$ .

Видим, что кривые переменности продольного поля  $B_e$ , полученные тремя методами, согласуются

между собой и с фотометрически определенным периодом ( $P = 1^d 5652386$ ). Серьезным аргументом в пользу этого значения периода вращения служит продолжительность времени, в течение которого изучалось магнитное поле звезды. Два измерения продольного поля, выполненные 35 лет тому назад на бальмеровском магнитометре [28], в пределах ошибок ложатся на кривую измерений,



выполненных методом регрессии (средний график на рис. 5).

Продольное поле HD 36916 имеет в основном отрицательную полярность, предельные значения  $B_e$  во всех трех случаях примерно одинаковы и составляют от 0 до  $-1$  кГс. Однако наблюдается значительное рассеяние точек, обусловленное сложными профилями спектральных линий и их малым количеством, что в сумме приводит к низкой точности результатов. Оценки поля  $B_e$  по водороду (нижний график на рис. 5) имеют характерную точность, не превышающую 500 Гс.

Сведения о лучевой скорости HD 36916 из базы данных VIZIER указывают на ее переменный характер. Среднее значение лучевой скорости  $V_r = +20.5 \pm 1.4$  км с $^{-1}$  по итогам измерения наших спектров также значимо отличается литературных данных. Таким образом, возможно HD 36916 является спектрально-двойной системой.

### 3.3.3. Определение физических параметров

Сравнивая наблюдаемые спектры с синтетическими, рассчитанными для разных наборов физических параметров, мы определили эффективную температуру звезды  $T_{\text{eff}} = 14\,700 \pm 200$  К, ускорение силы тяжести  $\lg g = 4.0 \pm 0.2$  и проекцию скорости вращения на луч зрения  $v_e \sin i = 78 \pm 4$  км с $^{-1}$ . Фотометрические калибровки ([19, 20]) для системы *wby* дают близкое значение эффективной температуры  $T_{\text{eff}} = 14\,200 \pm 200$  К.

Из эмпирических зависимостей нами найдены значения и других параметров звезды (в солнечных единицах):  $M = 3.4 \pm 0.5$ ,  $\lg L = 2.1$ ,  $R = 3.2 \pm 0.6$ . Все вместе это позволяет оценить значение угла наклона оси вращения к лучу зрения  $i$  и построить модель магнитного поля звезды. Так, из формулы (1) следует, что скорость вращения на экваторе звезды  $v_e$  равна 103 км с $^{-1}$ . С учетом измеренного значения  $v_e \sin i$  получаем угол  $i$ , равный  $50^\circ$ . Для описания двух видов кривых переменности продольного поля (классический метод и регрессия) были рассчитаны две модели строения магнитного поля звезды. Обе они предполагают простую дипольную геометрию. При использовании кривой  $B_e$ , полученной классическим методом [8], выходит, что экстремальные значения продольного поля равны  $+190$  и  $-1040$  Гс, угол  $i = 50^\circ$ , а угол  $\beta$  между осью вращения звезды и осью диполя равен  $130^\circ$ . В такой модели величина поля на полюсе диполя  $B_p = 4000$  Гс. Во втором случае магнитное поле на полюсе получается несколько слабее,  $B_p = 3000$  Гс, значения положительного экстремума и угла наклона оси вращения — чуть меньше, соответственно  $+170$  Гс и  $47^\circ$ , а угол  $\beta$ , наоборот, несколько больше —

$150^\circ$ . Наибольшая разница достигается в значении отрицательного экстремума:  $B_e(\text{min}) = -660$  Гс.

3.4. HD 37058 = Renson 9850 =  
NGC 1977 761 = Brown 160c

#### 3.4.1. Краткие сведения о звезде

Как и все рассмотренные нами ранее в этой статье звезды, HD 37058 относится к классу СР-звезд с ослабленными линиями гелия. Помимо этого, в спектре наблюдаются аномально сильные линии стронция. HD 37058 имеет спектральный класс В3р [12] и является членом ассоциации Ori OB1, подгруппа (с). Звезда находится в Большой туманности Ориона (Papegago 2083) [13]. Об этом свидетельствуют большая межзвездная поляризация в направлении на HD 37058 ( $P = 0.540\%$ ) и сильное поглощение в видимой области спектра ( $A_v = 0^m 15$ ).

В статье Топильской [16] были сделаны оценки химического состава и физических параметров звезды. Из ее работы следует, что звезда имеет эффективную температуру  $T_{\text{eff}} = 19\,600$  К и ускорение силы тяжести  $\lg g = 3.71$ . В содержании химических элементов отмечается дефицит гелия на два порядка и дефицит кремния больше чем на полпорядка. Содержание стронция в работе [16] не рассматривалось.

Результаты первых измерений магнитного поля HD 37058 были опубликованы в 1966 г. в работе [29]. В ней сообщалось об обнаружении продольного магнитного поля  $B_e = 2500 \pm 300$  Гс. Позже Конти [30] опроверг наличие настолько сильного поля у HD 37058, оценив его верхний предел в 1 кГс. Звезда имеет спектральный класс В3, однако линии в ее спектрах достаточно узкие. Эта особенность звезды и позволила в то время выполнить зеэмановские измерения по фотографическим спектрам. Тем не менее дальнейшего развития фотографические наблюдения звезды не получили.

Новые наблюдения были выполнены лишь в 1980-е годы на бальмеровском магнитометре Ландстрита. В работе [28] по трем измерениям было найдено продольное магнитное поле, среднеквадратическая величина которого  $\langle B_e \rangle$  составляет  $727 \pm 317$  Гс. Исходя из результатов своих измерений, авторы предложили период переменности поля  $P = 14.61$  суток.

С анализатором циркулярной поляризации звезда наблюдалась во второй половине 1990-х гг. на 3.6-м телескопе в Чили. Матис и Хубриг в совместной статье [31] приводят значение продольного поля  $B_e = +209 \pm 134$  Гс. Они же после анализа всех имеющихся на тот момент данных

о магнитном поле звезды несколько уточнили ее период вращения ( $P = 14^d612$ ).

К началу нашей программы последний раз с анализатором круговой поляризации звезда HD 37058 наблюдалась на приборе FORSI 8-м телескопа VLT. В работе Баньюло и др. [16] представлено значение  $B_e = -812 \pm 59$  Гс.

Отметим, что в компилятивном каталоге Бычкова и др. [23] приведена кривая переменности  $B_e$  с амплитудой от  $-1000$  до  $+2500$  Гс с периодом около 1 суток, что резко контрастирует со всеми ранее полученными данными.

### 3.4.2. Результаты измерения магнитного поля и лучевой скорости

В период с 2011 по 2015 гг. нами было выполнено семь отдельных наблюдений HD 37058 на 6-м телескопе обсерватории. Высокая точность измерений продольного магнитного поля звезды достигается за счет достаточно большого количества узких линий. Сравнение профилей нескольких малочувствительных к магнитному уширению линий в наблюдаемом спектре с расчетами показало, что проекция скорости вращения на луч зрения  $v_e \sin i$  меньше  $25 \text{ км с}^{-1}$ , что находится на пределе разрешения нашего спектрографа.

Данные обо всех измерениях магнитного поля звезды, в том числе и сведения из литературы, за исключением тех, что получены фотографическим методом и имеют низкую точность, собраны в таблице 4. Колонки таблицы имеют те же обозначения, что и в таблице 3. Измерения продольного поля в работах [18] и [28] выполнены на основании анализа  $V$ -параметра Стокса, поэтому мы включили их в колонку, в которой представлены наши измерения методом регрессии. В работе [31] поле измерялось классическим способом, поэтому они включены в колонку с классическими измерениями  $B_e$ .

Среднее квадратическое поле, рассчитанное по измерениям, полученным классическим методом и по методу регрессии, в пределах ошибок совпадает:  $\langle B_e \rangle(\text{zeeman}) = 799 \pm 33$  Гс,  $\langle B_e \rangle(\text{regr}) = 718 \pm 55$  Гс.

Мы провели анализ фотометрии HD 37058 из каталога HIPPARCOS и обзора ASAS3. В последнем случае наблюдается достаточно строгая периодическая переменность блеска звезды с периодом  $P = 14^d6590$  (рис. 6).

Найденный нами период очень близок к приведенному в работе [31]. На рис. 7 мы приводим все измерения продольного магнитного поля звезды из таблицы 4, построенные с фазой фотометрического периода.

Все три зависимости на рис. 7 хорошо описываются синусоидой. Фаза зависимостей рассчитана для уточнённого значения периода  $14^d6590$ .

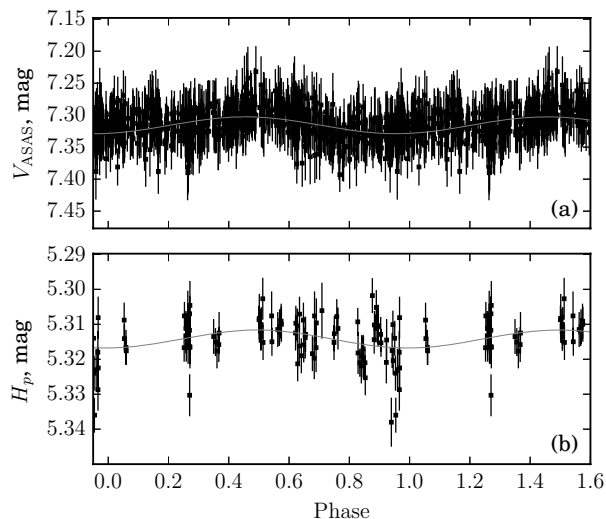


Рис. 6. Фотометрическая переменность HD 37058 с периодом  $14^d6590$  по данным обзоров ASAS3 и HIPPARCOS.

Некоторое отступление данных из работы [31] от аппроксимирующей кривой объясняется недостаточной точностью определения периода, которая проявляется на масштабе времени в 20 лет. Наши измерения  $B_e$  методом регрессии по фазе совпадают с «классической» кривой на рис.7, но имеют немного меньшую амплитуду переменности. Два из трех измерений, выполненных 30 лет тому назад на бальмеровском магнитометре с низкой точностью и опубликованных в работе [28], также хорошо описываются аппроксимирующей функцией. Вдобавок приближенная оценка величины продольного поля по линии  $H\beta$  (нижний график на рис. 7) подтверждает правильность выбранного значения для периода  $P$ . Таким образом, можно заключить, что HD 37058 — магнитная звезда с периодом вращения  $P = 14^d6590$ .

В базе данных SIMBAD для звезды HD 37058 приведена лучевая скорость  $V_r = +22.8 \text{ км с}^{-1}$ . Среднее значение лучевой скорости, полученное нами,  $V_r = +27.6 \pm 1.3 \text{ км с}^{-1}$ , значительно отличается от представленного в SIMBAD. В литературе упоминается о двух достаточно далеких (на расстоянии около  $20''$ ) звездах слабее на девять звездных величин. Ни одна из них не может быть причиной изменения лучевой скорости на временах порядка десятков лет. В таком случае наши измерения  $V_r$  могут свидетельствовать о существовании более близкого и массивного спутника этой звезды.

### 3.4.3. Определение физических параметров

По аналогии с тремя рассмотренными ранее звездами мы определили физические параметры HD 37058. Сравнение наблюдаемых спек-

**Таблица 4.** Результаты измерений продольного магнитного поля и лучевой скорости HD 37058

JD (2400000+)	$S/N$	$B_e(\text{zeeman}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{regr}) \pm \sigma$ , Гс	$B_e(\text{H})$ , Гс	$V_r \pm \sigma$ , км с <sup>-1</sup>	Комментарий
45303.802	—	—	$-210 \pm 320$	—	—	[28]
45308.666	—	—	$-880 \pm 305$	—	—	[28]
45309.660	—	—	$-875 \pm 325$	—	—	[28]
48847.908	—	$+209 \pm 134$	—	—	—	[31]
52885.529	—	—	$-812 \pm 59$	—	—	[18]
55582.301	230	$-1250 \pm 70$	$-1100 \pm 70$	-1000	$+31.4 \pm 3.7$	
55583.384	270	$-1140 \pm 50$	$-1130 \pm 60$	-900	$+32.2 \pm 4.2$	
55842.619	290	$-120 \pm 40$	$-110 \pm 50$	-600	$+27.5 \pm 3.2$	
55843.494	420	$-440 \pm 40$	$-320 \pm 90$	-2000	$+19.1 \pm 3.2$	
55873.587	230	$-950 \pm 80$	$-800 \pm 60$	-800	$+27.0 \pm 3.4$	
57289.594	200	$+680 \pm 140$	$+370 \pm 70$	+100	$+28.0 \pm 1.6$	
57290.558	250	$+830 \pm 90$	$+620 \pm 50$	+700	$+27.4 \pm 2.8$	

тров с расчётными показало, что в нашей выборке эта звезда является наиболее горячей:  $T_{\text{eff}} = 17\,200 \pm 200$  К. Ускорение силы тяжести, по нашим данным, противоречит результатам Топильской [16] и является характерным для звезд, находящихся на Главной последовательности:  $\lg g = 4.0 \pm 0.2$ . Также мы оценили радиус HD 37058 ( $R = 5.0 \pm 1.2$ ), ее массу ( $M = 5.8 \pm 0.8$ ) и светимость ( $\lg L = 3.1 \pm 0.2$ ). Все перечисленные параметры указаны в солнечных единицах. Фотометрические калибровки в системе *uvby* дают несколько большую эффективную температуру:  $T_{\text{eff}}(\text{phot}) = 19\,500 \pm 200$  К, на что следует обратить внимание в будущих исследованиях звезды.

Исходя из наших оценок радиуса и периода вращения звезды, мы получаем важное свидетельство того, что HD 37058 относится к группе очень медленных ротаторов. Скорость вращения на экваторе звезды  $v_e$  равна  $18 \text{ км с}^{-1}$ . Отсюда следует, что настоящая ширина линий в наших спектрах меньше инструментального профиля спектрографа. Надо отметить, что короткий период вращения (порядка 1 суток) невозможен ещё и потому, что при найденных нами физических параметрах звезды угол  $i$  должен быть менее  $5^\circ$ . При такой ориентации звезды мы должны были бы наблюдать практически одну и ту же область ее поверхности во всех фазах периода, а, значит, никакой переменности продольного поля  $B_e$  не было бы при любом угле  $\beta$ .

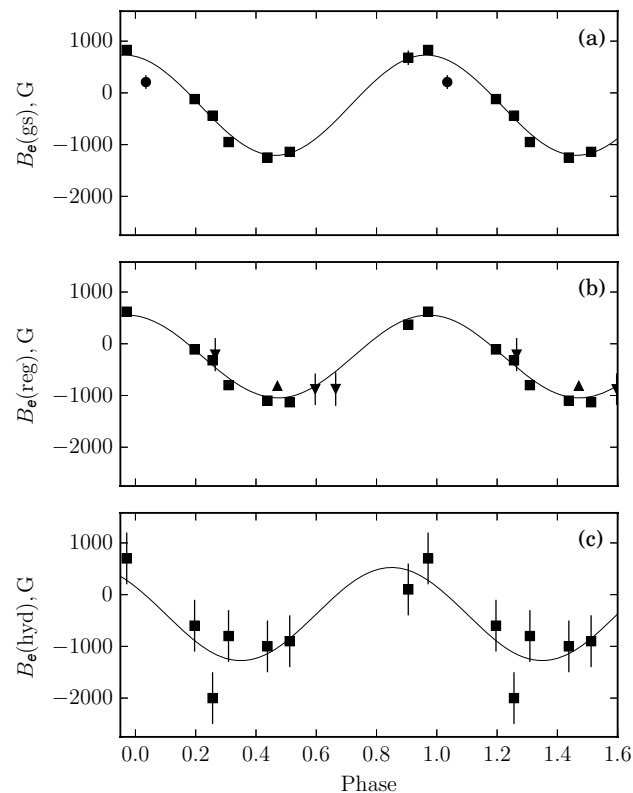
Помимо вывода о медленном вращении, синусоидальный характер кривых переменности поля позволяет сделать вывод о достаточно простой, дипольной, геометрии магнитного поля HD 37058. По аналогии с HD 36916 использование результатов, полученных классическим

методом, приводит к синусоидальному закону переменности  $B_e$  при следующих параметрах:  $B_e(\text{max}) = +830$  Гс,  $B_e(\text{min}) = -1250$  Гс,  $i = 40^\circ$ ,  $\beta = 100^\circ$ ,  $B_p = 6000$  Гс. Измерения по методу регрессии дают практически идентичный результат при моделировании строения поля:  $B_e(\text{max}) = +620$  Гс,  $B_e(\text{min}) = -1130$  Гс,  $i = 32^\circ$ ,  $\beta = 100^\circ$ ,  $B_p = 6000$  Гс.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена изучению свойств четырех Vr-звезд ассоциации Ori OB1. Хотя магнитные поля у них были обнаружены ранее, сведения о них были недостаточными из-за эпизодического характера проведенных прежде наблюдений. Мы выполнили систематические измерения магнитных полей всех объектов по единой методике. Наличие магнитного поля подтверждено у всех из них, но для каждой звезды характерны индивидуальные особенности.

Звезда HD 36540 обладает достаточно слабым магнитным полем. На точность измерения продольного поля звезды негативно влияет сильное уширение профилей спектральных линий, которые к тому же имеют сложную форму. Нам не удалось построить для звезды кривую переменности продольного поля  $B_e$  с фазой периода вращения, следовательно, нет возможности изучить и строение магнитного поля. На данный момент мы можем предположить, что период вращения этой звезды составляет примерно 1.85 суток, хотя нельзя исключать и большее значение периода — 2.17 суток. Звезда находится в Большой туманности Ориона — в области с сильным поглощением и сильной линейной поляризацией.



**Рис. 7.** Переменность продольного магнитного поля HD 37058 с элементами:  $JD = 2451955.1063 + 14^d.6590E$ . Измерения выполнены классическим методом (а), методом регрессии (б) и по линии водорода  $H\beta$  (с). Кружок, треугольник и перевернутые треугольники — данные из работ [31], [18] и [28] соответственно.

HD 36668 — звезда с негармонической кривой переменности продольного поля, на которой наблюдается вторичный максимум. Главный и вторичный максимумы магнитной кривой  $B_e$  совпадают с минимумами фотометрической кривой в цвете  $u$ . Период вращения звезды — 2.11884 суток — установлен очень надежно. Продольное поле звезды меняется в пределах от  $-2$  кГс до  $+2$  кГс. HD 36668 — молодая звезда возрастом около 1.5 млн лет. Таким образом, подтверждается, что сложные кривые  $B_e$  наблюдаются только у молодых звезд. Мы предполагаем, что ее магнитное поле имеет недипольное строение, поэтому имеет смысл проводить дальнейшее изучение этой звезды с привлечением методов доплер-зеemanовского картирования. Можно ожидать, что в отдельных местах на поверхности HD 36668 величина поля  $B_s$  превышает 10 кГс.

HD 36916 — магнитная CP-звезда с периодом вращения  $1^d.565238$ . Как и предыдущий объект, звезда находится в Большой туманности Ориона. В направлении на звезду наблюдается большая линейная поляризация. Изменения продольной компоненты магнитного поля звезды происходят в фазе с изменениями блеска. Точность выбранного зна-

чения периода вращения подтверждается наблюдениями, выполнявшимися в течение 30 лет. Продольное поле  $B_e$  имеет в основном отрицательную полярность и меняется от 0 до  $-1$  кГс. Нами построена предварительная модель магнитного поля: оно имеет дипольную структуру, величина поля на полюсе диполя  $B_p$  равна 3–4 кГс, а угол наклона оси диполя к оси вращения звезды  $\beta$  составляет  $130^\circ$ – $150^\circ$ .

HD 37058 — самая массивная и горячая звезда из рассматриваемых в нашей статье объектов выборки. Анализ данных фотометрии и магнитометрии, которые были получены за последние 35 лет, позволил нам надежно установить значение периода вращения звезды,  $P_{\text{rot}} = 14^d.6590$ . Для объекта спектрального класса B3, к которому относится HD 37058, это необычно большой период вращения, так как стандартные значения  $P_{\text{rot}}$  находятся в пределах от 1 до 3 суток. Звезда находится в Большой туманности Ориона, в области с большой линейной поляризацией и умеренным поглощением в видимом диапазоне. Мы получили гладкую синусоидальную кривую переменности  $B_e$ , указывающую на поле дипольной структуры. Нами была построена предварительная модель, описывающая

конфигурацию магнитного поля звезды: поле на полюсе диполя  $B_p = 6$  кГс, угол наклона оси диполя к оси вращения  $\beta = 100^\circ$ .

Таким образом, несмотря на то, что все звезды нашей выборки имеют примерно одинаковые аномалии химического состава атмосфер (в первую очередь — дефицит гелия на два порядка), одно и то же пространственное расположение и возраст (ассоциация Ori OB1), три из них имеют примерно одинаковые температуры, массы, светимости и скорости углового вращения. Четвертая — HD 37058 — является существенно более горячей и массивной, однако скорость ее углового вращения на порядок меньше, чем у остальных. У всех звезд обнаружено магнитное поле. Максимального значения (около 2 кГс) амплитуда  $B_e$  достигает у HD 36668. У этой же звезды наблюдается наиболее сложная топология поля. У других звезд поле слабее и имеет дипольную структуру. HD 36668 принадлежит наиболее молодой подгруппе ассоциации (b), в то время как три остальные относятся к подгруппе (c) и находятся в Большой туманности Ориона.

Мы продемонстрировали стабильность международной системы магнитных измерений, включая и наши данные с 6-м телескопа САО РАН. Несмотря на различие методик наблюдений и анализа, результаты, полученные в течение последних 35 лет на разных телескопах мира, удалось свести в единую систему. Это позволило нам надежно определить периоды вращения для трех звезд (HD 36668, HD 36916 и HD 37058) и сопоставить для них фотометрические и магнитные кривые переменности. Найдено соответствие по фазам периода вращения для этих объектов между экстремумами кривых блеска и продольного магнитного поля  $B_e$ .

### БЛАГОДАРНОСТИ

В настоящей работе широко использовалась информация, содержащаяся в астрономических базах SIMBAD и VIZIER. Авторы благодарят Российский научный фонд за финансовую поддержку работы (грант РНФ 14-50-00043) и Комитет по тематике больших телескопов РАН за предоставление наблюдательного времени.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, I. A. Yakunin, et al., *Astrophysical Bulletin* **71**, 436 (2016).
2. I. I. Romanyuk and I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **67**, 177 (2012).
3. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, I. A. Yakunin, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **68**, 300 (2013).
4. E. F. Borra, *Astrophys. J.* **249**, L39 (1981).
5. V. E. Panchuk, G. A. Chuntunov, and I. D. Naidenov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 339 (2014).
6. G. A. Chountonov, in *Proc. Intern. Conf. on Magnetic Stars, Nizhnij Arkhyz, Russia, 2004*, Ed. by Y. V. Glagolevskij, I. I. Kudryavtsev, and I. I. Romanyuk (Nizhnij Arkhyz, 2004), pp. 286–291.
7. H. W. Babcock, *Astrophys. J. Suppl.* **3**, 141 (1958).
8. D. O. Kudryavtsev, *Baltic Astronomy* **9**, 649 (2000).
9. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002).
10. I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, and I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **70**, 456 (2015).
11. I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **68**, 214 (2013).
12. P. Renson and J. Manfroid, *Astron. and Astrophys.* **498**, 961 (2009).
13. P. P. Parenago, *Trudy Gosudarstvennogo Astronomicheskogo Instituta* **25**, 393 (1954).
14. C. Heiles, *Astron. J.* **119**, 923 (2000).
15. P. North, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **55**, 259 (1984).
16. G. P. Topil'skaya, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **36**, 52 (1993).
17. D. A. Rastegaev, Y. Y. Balega, V. V. Dyachenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **69**, 296 (2014).
18. S. Bagnulo, J. D. Landstreet, E. Mason, et al., *Astron. and Astrophys.* **450**, 777 (2006).
19. R. Napiwotzki, D. Schoenberner, and V. Wenske, *Astron. and Astrophys.* **268**, 653 (1993).
20. E. Paunzen, *Astron. and Astrophys.* **580**, A23 (2015).
21. G. Bertelli, L. Girardi, P. Marigo, and E. Nasi, *Astron. and Astrophys.* **484**, 815 (2008);
22. G. Bertelli, E. Nasi, L. Girardi, and P. Marigo, *Astron. and Astrophys.* **508**, 355 (2009).
23. V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *Astron. and Astrophys.* **430**, 1143 (2005).
24. S. J. Adelman, *Astron. and Astrophys.* **357**, 548 (2000).
25. E. F. Borra and J. D. Landstreet, *Astrophys. J.* **228**, 809 (1979).
26. E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, and I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **69**, 191 (2014).
27. M. Zejda, E. Paunzen, B. Baumann, et al., *Astron. and Astrophys.* **548**, A97 (2012).
28. E. F. Borra, J. D. Landstreet, and I. Thompson, *Astrophys. J. Suppl.* **53**, 151 (1983).
29. W. L. W. Sargent, A. I. Sargent, and P. A. Strittmatter, *Astrophys. J.* **147**, 1185 (1967).
30. P. S. Conti, *Astrophys. J.* **159**, 723 (1970).
31. G. Mathys and S. Hubrig, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **124** (1997).

## Magnetic Field of CP Stars in the Ori OB1 Association. II. HD 36540, HD 36668, HD 36916, HD 37058

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

We present the results of magnetic field measurements of four chemically peculiar (CP) stars with helium abundance anomalies which are the members of the Orion stellar association OB1. The stars under study were classified as magnetic by other authors earlier. The present paper contains the results of the extensive study of the stars. Magnetic field measurements allowed us to conclude that HD 36540 has a weak field and the longitudinal component  $B_e$  does not exceed 500 G. The longitudinal field of HD 36668 varies with the period  $P = 2^{\text{d}}11884$  and the amplitude from  $-2$  to  $+2$  kG. The magnetic field of HD 36916 has mainly negative polarity and varies within the range from 0 to  $-1$  kG with the period  $P = 1^{\text{d}}565238$ . HD 37058 is a magnetic star, the longitudinal field of which varies from  $-1.2$  to  $+0.8$  kG with the period  $P = 14^{\text{d}}659$ . The  $B_e$  field variability pattern for the stars HD 36916 and HD 37058 is of a simple harmonic type. The longitudinal field of HD 36668 is best described with two combined harmonic functions (“a double wave”). The variability period of HD 36540 is still undetermined. For all the stars from this paper, we measured radial velocities  $V_r$ , axial rotation rates  $v_e \sin i$ , and determined basic parameters of atmospheres (effective temperatures  $T_{\text{eff}}$  and gravity acceleration  $\log g$ ). We also estimated masses  $M$ , luminosities  $L$ , and radii  $R$  of the stars.

Keywords: *stars: magnetic field—stars: chemically peculiar—stars: individual: HD 36540, HD 36668, HD 36916, HD 37058*