ISSN online 3034–4107
ИЗВЕСТИЯ КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 122, № 3, 5–12 (2026) EDN: QOMZIM

УДК 524.3

Магнитное поле классической Ap-звезды θ Aur

В.В. Бутковская✉, *А.С. Бойко, С.И. Плачинда*

ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН", Научный, 298409, Крым

Поступила в редакцию 10 июня 2026 г.

Аннотация. Представлены результаты исследования магнитного поля химически пекулярной звезды θ Aur. В работе использованы спектрополяриметрические наблюдения в круговой поляризации, выполненные на 2.6-м рефлекторе ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории в 2009–2016 гг., а также архивные наблюдения, полученные с помощью спектрополяриметра ESPaDOnS на Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) в 2006–2008 гг. Продольный компонент магнитного поля измерялся по отдельным линиям водорода, железа, хрома и кремния.

Построены фазовые зависимости магнитного поля для всех исследованных элементов. Показано, что результаты хорошо согласуются с ранее опубликованными измерениями. Наиболее регулярная фазовая зависимость получена по водородным линиям, что позволяет рассматривать их как наиболее надежный индикатор глобальной магнитной структуры звезды. На основе измерений по водородным линиям выполнено моделирование магнитного поля в рамках модели наклонного ротатора. Получены параметры дипольной конфигурации: напряженность магнитного поля на полюсе $B_{\rm p} = 1006$ Гс, угол наклона оси вращения к лучу зрения $i = 122°$ и угол между осью вращения и магнитной осью $\beta = 111°$. Полученные значения хорошо согласуются с результатами зеeман-доплеровского картирования.

Проведено сравнение магнитных измерений с фотометрическими данными космического телескопа TESS. Показано, что фотометрическая кривая и фазовые зависимости магнитного поля демонстрируют различное поведение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемая фотометрическая переменность и особенности магнитных кривых отдельных химических элементов обусловлены неоднородным распределением химических элементов по поверхности звезды.

Ключевые слова: магнитные поля звезд, химически пекулярные звезды, спектрополяриметрия, θ Aur

1 Введение

Магнитные химически пекулярные звезды (Ap/Bp-звезды) представляют собой важный класс объектов для исследования происхождения и эволюции крупномасштабных магнитных полей звезд верхней части главной последовательности. Эти звезды характеризуются стабильными глобальными магнитными полями и неоднородностями химического состава атмосферы. Согласно теории атомной диффузии (Michaud, 1970; Michaud et al., 2015), наблюдаемые химические особенности возникают вследствие совместного действия гравитационного осаждения и радиационной диффузии химических элементов. Наличие магнитного поля существенно влияет на протекание диффузионных процессов и приводит к формированию вертикальных и горизонтальных неоднородностей химического состава атмосферы.

Вращение звезды приводит к периодической смене видимых областей поверхности и вызывает фотометрическую, спектральную и магнитную переменность. Совместный анализ этих видов переменности позволяет исследовать взаимосвязь между глобальной магнитной геометрией и распределением химических пятен. Особый интерес представляют случаи, когда измерения магнитного поля по различным спектральным линиям дают различные фазовые зависимости, поскольку такие различия могут быть связаны с неоднородным распределением химических элементов по поверхности звезды.

Яркая магнитная Ap-звезда θ Aur (HD 40312) относится к переменным типа α^2 CVn. Благодаря высокой яркости и относительно короткому периоду вращения она неоднократно становилась объектом фотометрических, спектроскопических и спектрополяриметрических исследований (Borra, Landstreet, 1980; Wade et al.,

✉*Адрес для корреспонденции:* vb@craocrimea.ru

© Автор(ы), 2026.
Статья открытого доступа. Авторское право и право на публикацию текстов, представленных в журнале "Известия Крымской астрофизической обсерватории", сохраняются за авторами, при этом право первой публикации предоставляется журналу. Тексты могут свободно использоваться при условии правильного цитирования в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

2000). По результатам зееман-доплеровского картирования, выполненного Kochukhov et al. (2019), звезда имеет эффективную температуру $T_{\rm eff} \approx 10400$ К, массу около 3 $M_\odot$, радиус около 5 $R_\odot$ и период вращения $P_{\rm rot} = 3.6186$ сут. θ Aur демонстрирует выраженную фотометрическую, спектральную и магнитную переменность, связанную с вращением и неоднородным распределением химических элементов по поверхности (Krticka et al., 2015; Kochukhov et al., 2019).

Несмотря на большое количество опубликованных исследований, вопрос о связи между глобальной магнитной структурой и поведением магнитных измерений, выполненных по линиям различных химических элементов, остается актуальным. Особый интерес представляет сопоставление магнитных измерений с современной высокоточной фотометрией космического телескопа Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS; Ricker et al., 2015).

Целью настоящей работы является исследование фазовых вариаций продольного магнитного поля θ Aur по линиям водорода, железа, хрома и кремния, их сопоставление с фотометрическими данными TESS, а также моделирование крупномасштабной магнитной структуры звезды в рамках модели наклонного ротатора.

2 Наблюдения и обработка данных

2.1 Спектрополяриметрия

Спектрополяриметрические наблюдения θ Aur в круговой поляризации были выполнены в течение 18 ночей с 2009 по 2016 год на 2.6-м рефлекторе им. академика Г.А. Шайна (ЗТШ) в Крымской астрофизической обсерватории. Спектральное разрешение $R \sim 50000$, типичное отношение сигнал/шум единичного спектра ~300. Для обеспечения однородности всего ряда наблюдений ЗТШ измерения магнитного поля выполнялись по двум линиям Si II, присутствующим во всех полученных спектрах.

Также в работе использованы спектрополяриметрические наблюдения θ Aur в круговой поляризации, полученные в течение 6 ночей с 2006 по 2008 год на 3.6-м Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) с помощью спектрографа ESPaDOnS. Данные были загружены из открытого архива Canadian Astronomy Data Centre (CADC)[1]. Разрешение спектров, полученных на ESPaDOnS в режиме спектрополяриметрии, $R \sim 68000$; типичное отношение сигнал/шум единичного спектра $\sim 300 \div 500$.

Первичная обработка наблюдательных данных (коррекция bias, исправление за плоское поле, удаление фона неба, нарезка эшельных спектров на отдельные порядки) выполнена с помощью пакета IRAF (Tody, 1986). Для отождествления линий в спектре звезды использовалась модель атмосферы, загруженная из базы данных Vienna Atomic Line Database (VALD[2]; Ryabchikova et al., 2015), для физических параметров и химического состава θ Aur, взятых из работы Kochukhov et al. (2019). Из полученного набора спектральных линий для вычисления магнитного поля были отобраны неблендированные линии ионизованных кремния, хрома и железа. Также для вычисления магнитного поля использовались ядра водородных линий H_α, H_β и H_γ. Спектральные линии, включенные в маску для расчета магнитного поля, представлены в таблице 1.

Продольный компонент магнитного поля $B_{\rm e}$ рассчитывался по отдельным спектральным линиям методом Single Line, основанным на измерении зеемановского смещения центров тяжести профилей в правой и левой круговой поляризации (Plachinda, Tarasova, 1999; Butkovskaya, Plachinda, 2007; Plachinda, 2014). Смещение $\Delta\lambda_B$, вызванное расщеплением уровней атома в магнитном поле (эффект Зеемана), связано с продольным компонентом поля соотношением

$$\Delta\lambda_B = \frac{e}{4\pi m_e c^2}\, g\lambda^2 B_e = 4.67 \times 10^{-13}\, g\lambda^2 B_e, \qquad (1)$$

где e – элементарный заряд, $m_{\rm e}$ – масса электрона, c – скорость света в вакууме, g – эффективный фактор Ланде, λ – несмещенная (центральная) длина волны в ангстремах, $B_{\rm e}$ выражается в гауссах.

Для устранения инструментальных эффектов использовалась flip-flop-процедура: последовательные экспозиции получались при двух положениях входной четвертьволновой пластинки, отличающихся на 90°. При такой методике наблюдений спектры с правой и левой круговой поляризацией меняются местами на CCD-матрице, что позволяет исключить вклад инструментального сдвига при вычислении разности положений центров тяжести линий.

[1] https://www.cadc-ccda.hia-iha.nrc-cnrc.gc.ca/
[2] http://vald.astro.uu.se/

Таблица 1. Список спектральных линий для расчета магнитного поля θ Aur, их длины волн и эффективные факторы Ланде g

Элемент	λ, Å	g
H_γ	4340.4620	1.00
Fe II	4522.6276	0.92
Cr II	4848.2350	1.25
H_β	4861.3230	1.00
Fe II	5018.4356	1.93
Si II	5055.9841	1.10
Cr II	5279.8772	1.48
Cr II	5420.9220	1.48
Si II	6347.1087	1.17
Si II	6371.3714	1.33
H_α	6562.7970	1.00

Для каждой линии измерялись центры тяжести профиля в спектрах с противоположной круговой поляризацией. Итоговое значение B_e определялось по зеемановскому смещению с учетом индивидуального значения фактора Ланде и длины волны данной линии. Такой подход особенно важен для θ Aur, поскольку химическая неоднородность атмосферы Ap-звезды может привести к различиям в фазовых кривых магнитного поля, построенных по отдельным линиям разных химических элементов (Han et al., 2018).

Контроль возможных ложных сигналов выполнялся путем расчета тестового, или нулевого, поля B_{test} по парам экспозиций с одинаковой круговой поляризацией. При отсутствии случайных и систематических эффектов B_{test} должно быть равно нулю в пределах ошибок. Отсутствие значимой фазовой зависимости B_{test} рассматривалось как дополнительное подтверждение надежности измеренных вариаций B_e.

Ошибки B_e оценивались из разброса индивидуальных измерений в каждую дату; для каждой даты отдельно контролировались B_{test} и качество аппроксимации профиля.

2.2 Фотометрия

Фотометрические данные для звезды θ Aur были получены из Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST)[3], содержащего наблюдения космического телескопа TESS. Для анализа использовались кривые блеска с двухминутным временным разрешением, обработанные стандартным пайплайном Science Processing Operations Center (SPOC). Данные охватывают сектора 19 и 73 и содержат 33987 измерений.

Поскольку целью данной работы является исследование относительных изменений блеска звезды, а не анализ его абсолютных значений, фотометрические данные были приведены к безразмерному виду методом min-max-нормализации. Нормированные значения вычислялись по формуле

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \tag{2}$$

где x – исходное значение потока, а x_{min} и x_{max} – минимальное и максимальное значения во всей выборке наблюдений.

В результате нормализации значения фотометрического потока были приведены к диапазону от 0 до 1. Такая процедура сохраняет форму кривой блеска, периодичность и фазовые соотношения между наблюдениями, обеспечивая удобство последующего сравнения фотометрических и магнитных вариаций звезды.

3 Результаты и обсуждение

Результаты измерения продольного компонента магнитного поля θ Aur по отдельным спектральным линиям приведены в таблицах 2–4 (по наблюдениям на ESPaDOnS CFHT) и таблице 5 (по наблюдениям на ЗТШ). Следует отметить, что в отдельные даты удалось измерить магнитное поле не по всем линиям Cr II (см. таблицу 3). Это связано с неоднородным распределением хрома в атмосфере звезды и, как следствие, сильной переменностью профилей спектральных линий, делающей невозможной корректную сплайн-аппроксимацию профилей некоторых спектральных линий на отдельных фазах.

Таблица 2. Продольный компонент магнитного поля $B_e \pm \sigma$ (в гауссах), измеренный в ядрах водородных линий (столбцы 3–5). В столбце 1 приведена юлианская дата наблюдений, в столбце 2 – фаза периода осевого вращения θ Aur

JD	Фаза	H_γ	H_β	H_α
2454074.921	0.58	184 ± 81	316 ± 64	208 ± 42
2454076.142	0.92	−156 ± 135	−231 ± 108	−146 ± 71
2454488.999	0.01	−277 ± 90	−132 ± 65	−274 ± 46
2454490.009	0.29	119 ± 80	−19 ± 65	−11 ± 44
2454491.792	0.79	174 ± 74	91 ± 58	140 ± 46
2454495.872	0.91	−114 ± 128	−192 ± 93	−85 ± 72

Таблица 3. Продольный компонент магнитного поля $B_e \pm \sigma$ (в гауссах), измеренный по линиям Cr II

JD	Фаза	λ4848.235	λ5279.877	λ5420.922
2454074.921	0.58	474 ± 157	353 ± 97	306 ± 212
2454076.142	0.92	—	−115 ± 143	—
2454488.999	0.01	−341 ± 170	−170 ± 102	−331 ± 251
2454490.009	0.29	878 ± 142	680 ± 57	748 ± 149
2454491.792	0.79	719 ± 128	620 ± 59	415 ± 104
2454495.872	0.91	—	69 ± 211	247 ± 268

Таблица 4. Продольный компонент магнитного поля $B_e \pm \sigma$ (в гауссах), измеренный по линиям Fe II (столбцы 3–4) и Si II (столбцы 5–7)

JD	Фаза	λ4522.628	λ5018.436	λ5055.984	λ6347.109	λ6371.371
2454074.921	0.58	264 ± 163	365 ± 43	315 ± 55	261 ± 60	271 ± 82
2454076.142	0.92	−131 ± 280	−76 ± 72	−69 ± 97	−114 ± 101	−80 ± 134
2454488.999	0.01	−427 ± 162	−219 ± 43	−204 ± 55	−224 ± 61	−268 ± 87
2454490.009	0.29	−1 ± 135	−31 ± 37	84 ± 50	100 ± 60	268 ± 79
2454491.792	0.79	117 ± 152	351 ± 39	122 ± 49	134 ± 62	101 ± 87
2454495.872	0.91	−36 ± 249	−59 ± 65	−168 ± 83	−200 ± 97	91 ± 134

На рис. 1 представлены фазовые зависимости продольного компонента магнитного поля, измеренного по линиям различных химических элементов, а также нормированная кривая блеска, построенная по данным TESS, и фазовая зависимость тестового нулевого поля. Все измерения свернуты с периодом осевого вращения θ Aur $P_{\rm rot} = 3.6186$ сут согласно эфемериде, взятой из работы Wade et al. (2000):

$$JD = 2450001.881 + n \times (3.61860 \pm 0.00017) \text{ сут.} \quad (3)$$

Для сравнения с полученными результатами на рис. 1 также приведены литературные данные. Серыми символами показаны измерения продольного магнитного поля, опубликованные Borra, Landstreet (1980) и Kochukhov et al. (2019). В первой из упомянутых работ продольное магнитное поле определялось по круговой поляризации в крыльях водородных линий, тогда как во второй использовался метод Least-Squares Deconvolution (LSD; Donati et al., 1997) отдельно для водородных линий и линий металлов.

Несмотря на существенные различия в наблюдательном материале и методах обработки, литературные данные хорошо согласуются с результатами настоящей работы как по амплитуде вариаций магнитного поля, так и по фазовому положению максимумов и минимумов. Это подтверждает надежность полученных нами измерений и устойчивость наблюдаемой фазовой зависимости, а значит, и геометрии магнитного поля θ Aur.

Особенно хорошее согласие результатов настоящей работы с данными других авторов наблюдается для измерений, выполненных по водородным линиям и линиям Si II (см. рис. 1). Независимо от используемой методики (измерения по крыльям линий водорода, LSD-анализ или метод Single Line), фазовая кривая сохраняет форму и демонстрирует одинаковое положение экстремумов. Поскольку фазовая зависимость продольного магнитного поля, измеренного по водородным линиям, имеет близкую к синусоидальной форму

[3] https://mast.stsci.edu/

Таблица 5. Продольный компонент магнитного поля $B_e \pm \sigma$ (в гауссах), измеренный по линиям Si II (столбцы 3–4)

JD	Фаза	λ6347.109	λ6371.371
2455110.564	0.78	23 ± 27	122 ± 32
2455113.405	0.57	135 ± 19	165 ± 10
2456605.363	0.87	61 ± 21	−2 ± 22
2456606.346	0.14	−142 ± 34	−179 ± 29
2456617.379	0.19	−152 ± 24	−127 ± 26
2456618.376	0.47	322 ± 19	301 ± 23
2456654.225	0.38	308 ± 34	420 ± 34
2456656.207	0.92	−76 ± 38	−120 ± 39
2456910.531	0.21	−219 ± 43	−154 ± 47
2456911.522	0.48	290 ± 35	339 ± 40
2456912.527	0.76	190 ± 31	168 ± 33
2457381.381	0.32	173 ± 36	302 ± 48
2457382.272	0.57	249 ± 58	340 ± 72
2457385.249	0.39	201 ± 26	461 ± 33
2457426.441	0.78	137 ± 47	185 ± 60
2457441.239	0.87	42 ± 42	−11 ± 52
2457678.586	0.46	195 ± 26	164 ± 31
2457710.357	0.24	−96 ± 45	−58 ± 55

и демонстрирует хорошее согласие с результатами независимых измерений, именно эта кривая была использована для восстановления глобальной магнитной конфигурации звезды. Для интерпретации наблюдаемых вариаций была применена классическая модель наклонного ротатора (Stibbs, 1950), в которой магнитное поле звезды представляется центральным диполем, ось которого наклонена к оси вращения под углом β. Расчеты выполнялись методом распределения магнитных зарядов (Лебедев, 1980; Gerth, Glagolevskij, 1999; Feynman et al., 2010), реализованным С.И. Плачиндой в программных пакетах SIMPLDIP и MFCURVE.

Наилучшее соответствие между наблюдаемой и расчетной кривыми достигается при напряженности магнитного поля на полюсе диполя B_p = 1006 Гс, угле наклона оси вращения к лучу зрения i = 122° и угле между осью вращения и магнитной осью β = 111°. Соответствующая модельная зависимость показана на панели H I рис. 1 пунктирной линией.

Полученные параметры хорошо согласуются с результатами зеeман-доплеровского картирования θ Aur, выполненного Kochukhov et al. (2019), которые показали, что крупномасштабное магнитное поле звезды близко к дипольному и содержит около 76–78 % магнитной энергии в дипольной компоненте. Это подтверждает, что наблюдаемая фазовая зависимость продольного магнитного поля может быть удовлетворительно описана моделью наклонного диполя.

Измерения по линиям металлов демонстрируют более сложное поведение. Для линий Si II наблюдаются существенные отклонения от синусоидальной зависимости, а также различия между отдельными фазовыми интервалами. Наиболее сильные вариации магнитного поля обнаружены по линиям Cr II, для которых амплитуда изменения B_e существенно превышает аналогичные значения, полученные по водородным линиям. Измерения по линиям Fe II занимают промежуточное положение между результатами для кремния и хрома.

Различия между фазовыми кривыми, полученными по линиям разных химических элементов, свидетельствуют о неоднородном распределении химических элементов по поверхности звезды. Поскольку каждый элемент концентрируется в собственных областях атмосферы, измерения по различным линиям отражают магнитное поле на разных участках поверхности звезды. В результате распределение химических пятен оказывает заметное влияние на форму наблюдаемых фазовых кривых. Максимальные значения продольного магнитного поля, измеренные по линиям Cr II, примерно в 2–3 раза превышают значения, полученные по водородным линиям.

Следует отметить, что у магнитных Ap-звезд различия могут наблюдаться не только между магнитными кривыми, построенными по линиям разных химических элементов, но и между магнитными кривыми, построенными по измерениям в отдельных спектральных линиях одного и того же элемента. Так, для звезды β CrB Han et al. (2018) обнаружили статистически значимые различия амплитуд фазовых вариаций продольного магнитного поля, измеренного по отдельным линиям элементов Fe I, Cr II и Ca I. В случае θ Aur подобного эффекта выявлено не было. Магнитные измерения, выполненные по различным линиям одного и того же химического элемента, демонстрируют согласованное поведение в пределах ошибок измерений.

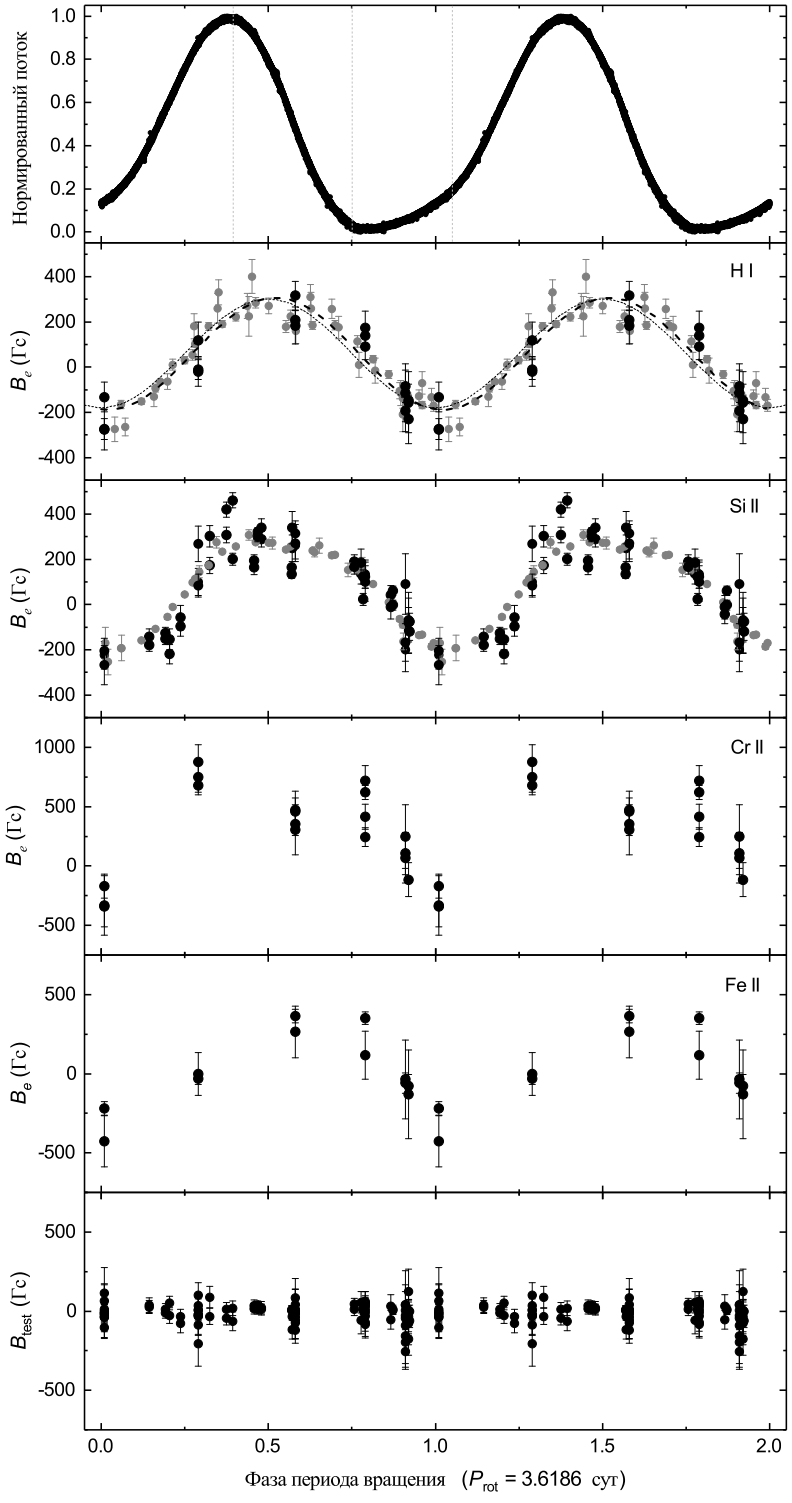


Рис. 1. Нормированная кривая блеска по наблюдениям TESS (верхняя панель), кривые магнитного поля для разных химических элементов (промежуточные панели), тестовое поле (нижняя панель). Измерения свернуты с фазами 3.6-дневного периода осевого вращения θ Aur. Черными кружками показаны наши измерения, серыми – данные Borra, Landstreet (1980) и Kochukhov et al. (2019). Вертикальные пунктирные линии иллюстрируют фазы экстремумов кривой блеска. Пунктирной линией на панели H I показана модельная кривая магнитного диполя, коротким пунктиром – аппроксимирующая синусоида

Дополнительную информацию о распределении химических неоднородностей дает сопоставление магнитных измерений с фотометрической кривой, полученной по данным TESS. Как видно из рис. 1, экстремумы блеска не совпадают по фазе с экстремумами продольного магнитного поля, измеренного по водородным линиям. Аналогичный результат был получен в работе Krticka et al. (2015), где на основе карт химического состава поверхности было показано, что фотометрические пятна θ Aur не связаны напрямую ни с положением магнитных полюсов, ни с прохождением магнитного экватора через центр видимого диска.

Согласно моделированию Krticka et al. (2015), основными источниками фотометрической переменности являются неоднородности распределения кремния, хрома и железа, которые перераспределяют поток из ультрафиолетовой области спектра в видимый диапазон. Вследствие этого наблюдаемая фотометрическая кривая отражает прежде всего распределение химических пятен по поверхности звезды, а не непосредственно геометрию магнитного поля.

Полученные в настоящей работе фазовые зависимости магнитного поля хорошо согласуются с такой интерпретацией. Наиболее близкую к синусоидальной форму демонстрируют измерения по водородным линиям, отражающие крупномасштабную магнитную структуру звезды. В то же время линии Cr II, Fe II и Si II показывают более сложное фазовое поведение, обусловленное локальными областями повышенного содержания соответствующих элементов. То есть различия между магнитными кривыми, построенными по линиям различных химических элементов, а также их отличие от фотометрической кривой являются естественным следствием сложной структуры химических пятен на поверхности θ Aur.

4 Заключение

В работе представлены результаты новых измерений продольного компонента магнитного поля звезды θ Aur по спектрополяриметрическим наблюдениям, полученным на 2.6-м рефлекторе ЗТШ КрАО и 3.6-м рефлекторе CFHT. Измерения были выполнены методом Single Line по линиям водорода, железа, хрома и кремния. Для всех исследованных элементов построены фазовые зависимости магнитного поля с использованием периода вращения звезды.

Полученные значения продольного магнитного поля хорошо согласуются с ранее опубликованными результатами (Borra, Landstreet, 1980; Kochukhov et al., 2019), несмотря на существенные различия в наблюдательном материале и методиках обработки. Особенно хорошее согласие наблюдается для измерений по водородным линиям, которые демонстрируют близкую к синусоидальной фазовую зависимость и могут рассматриваться как наиболее надежный индикатор глобальной магнитной структуры звезды.

На основе фазовой кривой, построенной по водородным линиям, выполнено моделирование крупномасштабного магнитного поля θ Aur в рамках модели наклонного ротатора. Наилучшее соответствие наблюдаемой и расчетной кривых достигается при напряженности магнитного поля на полюсе диполя $B_{\rm p} = 1006$ Гс, угле наклона оси вращения к лучу зрения $i = 122^\circ$ и угле между осью вращения и магнитной осью $\beta = 111^\circ$. Полученные параметры хорошо согласуются с результатами зееман-доплеровского картирования, опубликованными Kochukhov et al. (2019), что подтверждает доминирующую роль дипольной составляющей в магнитной структуре звезды.

Измерения, выполненные по линиям Fe II, Cr II и Si II, демонстрируют более сложное фазовое поведение и существенно отличаются от водородной магнитной кривой. Сопоставление магнитных измерений с фотометрическими данными TESS показывает, что экстремумы кривой блеска не совпадают с экстремумами продольного магнитного поля. Это свидетельствует о том, что наблюдаемая фотометрическая переменность определяется преимущественно неоднородным распределением химических элементов по поверхности звезды. Полученные результаты хорошо согласуются с современными моделями химической структуры поверхности θ Aur и подтверждают, что различия между магнитными кривыми отдельных элементов являются следствием сложной пространственной организации химических пятен в атмосфере звезды.

Дальнейшие спектрополяриметрические наблюдения θ Aur с более плотным фазовым покрытием позволят уточнить связь между распределением химических элементов и локальной структурой магнитного поля.

Благодарности. В данной работе использовались ресурсы Канадского центра астрономических данных (CADC), который управляется Национальным исследовательским советом Канады при поддержке Канадского космического агентства.

В работе использовалась база атомных данных VALD, поддерживаемая Уппсальским университетом, Институтом астрономии РАН и Венским университетом.

В статье использованы данные космической миссии TESS, полученные из архива MAST в Научном институте космического телескопа (Space Telescope Science Institute, STScI). Финансирование миссии TESS осуществляется в рамках программы NASA Explorer Program. STScI управляется Ассоциацией университетов по исследованиям в астрономии (Association of Universities for Research in Astronomy) по контракту с NASA NAS 5–26555.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН “КрАО РАН”.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

Лебедев В.С., 1980. Астрофизические исследования. Т. 12. С. 25–34. [Lebedev V.S., 1980. Astrofizicheskie issledovaniya, vol. 12, pp. 25–34.]

Borra E.F., Landstreet J.D., 1980. Astrophys. J. Suppl. Ser., vol. 42, pp. 421–445.

Butkovskaya V.V., Plachinda S.I., 2007. Astron. Astrophys., vol. 469, pp. 1069–1074. EDN: XLVNTH.

Donati J.-F., Semel M., Carter B.D., Rees D.E., Cameron A.C., 1997. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 291, pp. 658–682.

Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M., 2010. The Feynman lectures on physics: the new millennium edition. Basic Books, Perseus Books.

Gerth E., Glagolevskij Yu.V., 1999. In: Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars. Proc. Int. Meeting, Special Astrophysical Observatory RAS, pp. 151–157.

Han I., Valyavin G., Galazutdinov G., et al., 2018. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 479, pp. 1427–1432. EDN: MBCUVN.

Kochukhov O., Shultz M., Neiner C., 2019. Astron. Astrophys., vol. 621, p. A47. EDN: WYHMXJ.

Krtička J., Mikulášek Z., Lüftinger T., Jagelka M., 2015. Astron. Astrophys., vol. 576, p. A82. EDN: URVMBD.

Michaud G., 1970. Astrophys. J., vol. 160, pp. 641–658.

Michaud G., Alecian G., Richer J., 2015. Atomic Diffusion in Stars. Astronomy and Astrophysics Library. Springer Cham.

Plachinda S.I., 2014. Bull. Crimean Astrophys. Obs., vol. 110, pp. 17–24.

Plachinda S.I., Tarasova T.N., 1999. Astrophys. J., vol. 514, pp. 402–406.

Ricker G.R., Winn J.N., Vanderspek R., et al., 2015. J. Astron. Telesc. Instrum. Syst., vol. 1, no. 1, p. 014003.

Ryabchikova T., Piskunov N., Kurucz R.L., et al., 2015. Phys. Scr., vol. 90, p. 054005. EDN: UFXWDL.

Stibbs D.W.N., 1950. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 110, pp. 395–404.

Tody D., 1986. In Crawford D.L. (Ed.), Proc. SPIE Instrumentation in Astronomy VI, vol. 627, pp. 733–748.

Wade G.A., Donati J.-F., Landstreet J.D., Shorlin S.L.S., 2000. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 313, pp. 823–850. EDN: LSAWDF.

Magnetic field of the classical Ap star θ Aur

V.V. Butkovskaya, A.S. Boyko, S.I. Plachinda

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409

Abstract. We present an analysis of the magnetic field of the chemically peculiar star θ Aur. The study is based on circular spectropolarimetric observations obtained with the 2.6-m Shajn Telescope of the Crimean Astrophysical Observatory during 2009–2016 and archival ESPaDOnS observations acquired at the Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) during 2006–2008. The longitudinal magnetic field component was measured using the Single Line method applied to the hydrogen, iron, chromium, and silicon spectral lines.

Rotational phase curves of the magnetic field were constructed for all studied elements. The results are in good agreement with previously published measurements. The most regular phase dependence is obtained from hydrogen lines, indicating that they provide the most reliable tracer of the global magnetic field geometry. Using these measurements, the large-scale magnetic field was modelled within the framework of the oblique rotator model. The best-fit dipolar configuration corresponds to polar magnetic field strength $B_{\rm p}$ = 1006 G, inclination angle i = 122° and magnetic obliquity β = 111°. These parameters are consistent with the results obtained from Zeeman – Doppler imaging studies.

The magnetic measurements were compared with TESS photometry. The photometric and magnetic phase curves exhibit different behaviour, indicating that the observed photometric variability and the element-dependent magnetic signatures are primarily caused by the non-uniform distribution of chemical elements over the stellar surface.

Key words: stellar magnetic fields, chemically peculiar stars, spectropolarimetry, θ Aur

© Автор(ы), 2026.
Статья открытого доступа. Авторское право и право на публикацию текстов, представленных в журнале "Известия Крымской астрофизической обсерватории", сохраняются за авторами, при этом право первой публикации предоставляется журналу. Тексты могут свободно использоваться при условии правильного цитирования в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).