

УДК 524.35-337

## ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АР-ЗВЕЗДЫ $\gamma$ EQU

© 2018 И. С. Саванов<sup>1\*</sup>, И. И. Романюк<sup>2</sup>, Е. С. Дмитриенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>3</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

Поступила в редакцию 10 июля 2018 года; принята в печать 16 июля 2018 года

Рассмотрены данные об измерениях продольной компоненты магнитного поля  $\gamma$  Equ, выполненные в САО РАН на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа в 2002–2018 гг. При анализе наших результатов и всех доступных из литературы источников определений значений  $\langle B_z \rangle$  (441 измерение) сделан вывод о существовании периода  $P = 89.1 \pm 4.2$  года (32 521 суток). При описании всего массива данных с помощью двух синусоид получены величины периодов, равные 95.5 и 17.4 года (с погрешностью около 3.5 и 2 года соответственно). По нашей новой оценке переход к положительным значениям  $\langle B_z \rangle$ , вероятно, произойдет позднее, чем считалось ранее, а именно в 2031 г.

Ключевые слова: *звезды: индивидуальные:  $\gamma$  Equ*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия химически пекулярная звезда  $\gamma$  Equ является предметом многочисленных исследований. Она принадлежит к числу наиболее ярких Ар-звезд ( $V = 4^m 66$ ) (спектральный класс А9р, подкласс SrCrEu). Эта звезда относится к типу быстро осциллирующих гоАр-звезд.  $\gamma$  Equ обладает сильным магнитным полем, величина продольной компоненты которого  $\langle B_z \rangle$  медленно изменялась в пределах от 1000 Гс до  $-1600$  Гс в последние 60 лет.  $\gamma$  Equ принято считать прототипом звезд с экстремально длинным периодом вращения (по крайней мере не менее 60 лет). Поляриметрические измерения [1] указали на величину периода вращения в 77 лет, которая сейчас может рассматриваться как его нижняя граница. В предположении о том, что кривая изменений  $\langle B_z \rangle$  характеризуется синусоидальной формой, авторы работ [2–4] нашли величину периода вращения звезды равной  $91.1 \pm 3.6$  года,  $93 \pm 3$  года и  $97.16 \pm 3.15$  года соответственно. При анализе всего массива данных наблюдений, доступного к 2012 г., выполненного в работе [3] с помощью суперпозиции двух синусоид, были получены величины двух периодов — 87.8 и 16.9 года.

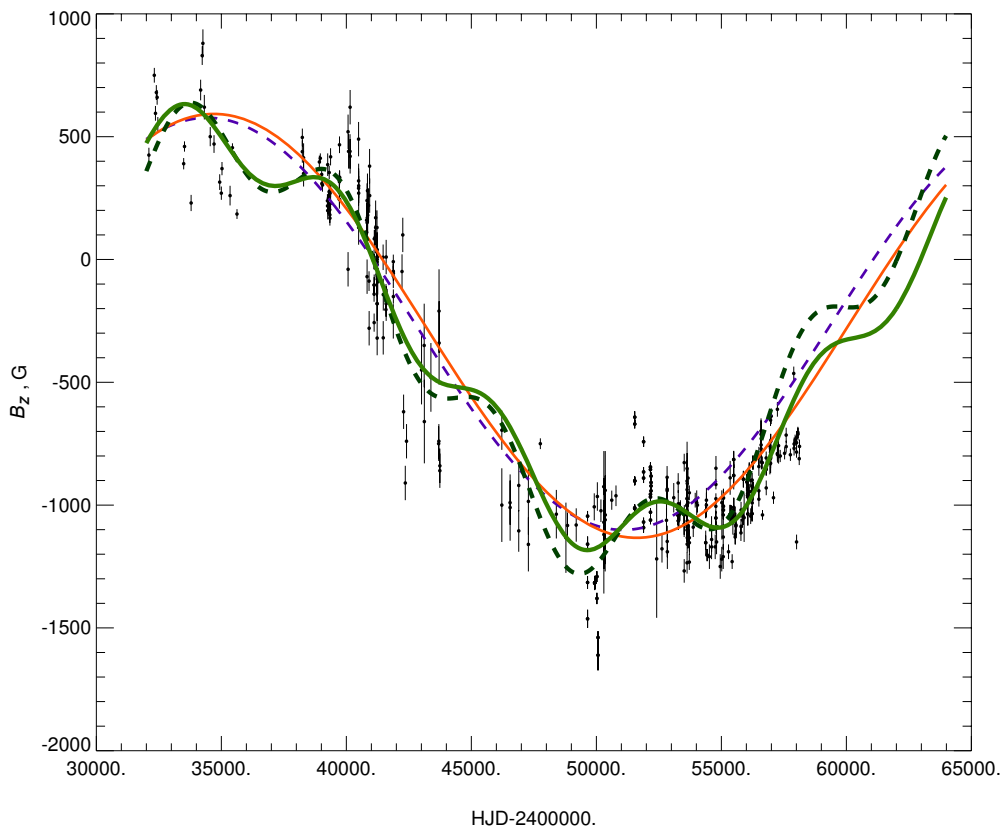
В настоящей работе мы приводим результаты анализа данных о переменности магнитного поля

$\gamma$  Equ на основе наиболее полного набора измерений  $\langle B_z \rangle$ , имеющихся к 2018 г.

### 2. ИЗМЕРЕНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ $\langle B_z \rangle$

Как и наши предыдущие работы, данное исследование основано на использовании всех полученных нами измерений, а также сведений из всех доступных литературных источников. По сравнению с работой [3], в наш общий массив данных наблюдений величины продольной компоненты магнитного поля  $\langle B_z \rangle$  мы добавили три новых набора измерений. Прежде всего, наибольшие изменения и дополнения связаны с использованием обширного оригинального набора данных измерений величины  $\langle B_z \rangle$   $\gamma$  Equ, выполненных в САО РАН на 6-м телескопе в 2002–2018 гг. Спектральные наблюдения проводились на Основном звездном спектрографе (ОЗСП) 6-м телескопа САО РАН. Был использован анализатор круговой поляризации в сочетании с поворотной пластинкой  $\lambda/4$  [5]. Наблюдательная программа включала также звезды с нулевым общим магнитным полем. Спектральное разрешение составляло  $R = 15\,000$ . До 2010 г. в наблюдениях использовалась ПЗС-матрица размером  $2000 \times 2000$  элементов, а начиная с лета 2010 г. — матрица  $4600 \times 2000$  элементов. В

\*E-mail: isavanov@inasan.ru



Изменения величины продольной компоненты магнитного поля  $\langle B_z \rangle$   $\gamma$  Equ. Точки с барями — измерения величин  $\langle B_z \rangle$  с погрешностями. Сплошная синусоидальная кривая (часть) — кривая изменений  $\langle B_z \rangle$  с периодом в 89.1 года (данная работа), штриховая синусоидальная кривая (часть) — аналогичная кривая согласно [3] (93 года). Две другие кривые (сплошная и пунктирная) соответствуют модели с двумя синусоидами — с периодами 95.5 года и 17.4 года (данная работа) и 87.8 года и 16.9 года [3] соответственно.

большинстве случаев полученный материал охватывал спектральный диапазон 4386–4945 Å. Обработка данных проводилась стандартным методом в системе MIDAS с помощью пакета программ ZEEMAN [6]. Первичная обработка включала в себя построение и последующее вычитание из всех рабочих снимков усредненного кадра подложки (bias), калибровку по длинам волн с использованием спектра Th–Ag лампы, экстракцию одномерного спектра и его нормировку на континуум.

Для определения величины продольной компоненты магнитного поля  $\langle B_z \rangle$   $\gamma$  Equ была выбрана методика, основанная на измерениях линий металлов (см. обсуждение в работе [7]). Результаты измерений частично опубликованы ранее [8–12], публикация остальных планируется отдельно. Всего было получено 114 измерений величины  $\langle B_z \rangle$ .

Кроме того, по сравнению с работой [3], мы использовали 96 новых независимых измерений  $\langle B_z \rangle$ , полученных в САО РАН на 1-м телескопе и опубликованных в статье [4]. Также наш основной список измерений был дополнен шестью оценками  $\langle B_z \rangle$  из работы [13].

### 3. ПЕРИОДОГРАММНЫЙ АНАЛИЗ

Для анализа мы использовали 441 измерение величины  $\langle B_z \rangle$ . Периодограммный анализ данных был выполнен с применением программ IDL<sup>1</sup> и программного комплекса Period04 [14]. Оба комплекса программ дали величины периодов, хорошо согласующиеся между собой, при этом, как правило, основные результаты были получены с использованием комплекса Period04, а программы IDL применялись для оценок погрешностей полученных результатов.

Периодограммный анализ нового массива данных привел к заключению о существовании периода  $P = 89.1 \pm 4.2$  года (32 521 суток) (см. Рисунок). Эта величина меньше, но сопоставима с той, что была получена нами ранее в работе [3] ( $P = 93 \pm 3$  года). Она совпадает в пределах погрешности определений с величиной  $P = 91.1$  года [2]. В исследовании [4] приводится большее значение:  $P = 97.16 \pm 3.15$  года. Отметим, что

<sup>1</sup>[www.physics.wisc.edu.craig.idl](http://www.physics.wisc.edu.craig.idl)

все перечисленные значения  $P$  существенно выше величины периода вращения, установленной Leroy et al. [1].

Как и в работе [3], мы провели также описание данных всего массива наблюдений с помощью двух синусоид. В результате были получены величины периодов, которые составили 95.5 года и 17.4 года (с погрешностью около 3.5 года и 2 года соответственно). Они больше приведенных в работе [3] величин периодов (87.8 года и 16.9 года соответственно), но находятся в пределах установленных погрешностей. Получены новые оценки продольной компоненты магнитного поля:  $\langle B_z^{\max} \rangle = 633$  Гс и  $\langle B_z^{\min} \rangle = -1183$  Гс.

Согласно результатам нашего предыдущего анализа [3], переход к положительным значениям  $\langle B_z \rangle$  должен был бы произойти в интервале времени февраль 2023 г.—август 2028 г.; наши новые результаты приводят к более позднему сроку — май 2031 г.

Изменения  $\langle B_z \rangle$  с периодом 95.5 года можно интерпретировать как периодические, вызванные вращением звезды. Природа периода с величиной в 17.4 года менее понятна. В принципе, кривая изменений величины  $\langle B_z \rangle$  может иметь ангармонический вид, примеры подобных кривых можно найти, например, в исследовании [13]. Столь заметные различия в определениях периода в предположении о синусоидальном характере кривой изменений величины  $\langle B_z \rangle$ , полученных в работах [2–4] и других, могут быть обусловлены рассмотрением массивов данных различной продолжительности, по-разному включающих поведение изменений величины после минимального значения.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты и выводы нашего исследования:

1. Приведены новые данные об измерениях продольной компоненты магнитного поля  $\gamma$  Eqr, выполненных в САО РАН на ОЗСП 6-м телескопа в 2002–2018 гг.
2. По нашим измерениям и по данным, доступным из литературных источников, выполнен периодограммный анализ нового массива данных (441 измерение), который привел к заключению о существовании периода  $P = 89.1 \pm 4.2$  года (32 521 суток).
3. При описании всего массива данных с помощью двух синусоид получены величины периодов, равные 95.5 и 17.4 года (с погрешностью 3.5 года и 2 года соответственно).

4. По новым оценкам продольная компонента магнитного поля составляет:  $\langle B_z^{\max} \rangle = 633$  Гс и  $\langle B_z^{\min} \rangle = -1183$  Гс.

5. Согласно полученным результатам, переход к положительным значениям  $\langle B_z \rangle$ , вероятно, произойдет позднее, чем считалось ранее, а именно в 2031 г.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект No. 18-12-00423).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. L. Leroy, S. Bagnulo, M. Landolfi, and E. Landi Degl'Innocenti, *Astron. and Astrophys.* **284**, 174 (1994).
2. V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **365**, 585 (2006).
3. I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and E. S. Dmitrienko, in *Proc. Intern. Conf. on Putting a Stars into Context: Evolution, Environment, and Related Stars, Moscow, Russia, 2013*, Ed. by G. Mathys, E. R. Griffin, O. Kochukhov, et al. (Publ. house «Pero», Moscow, 2014), pp. 386–388.
4. V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **455**, 2567 (2016).
5. G. A. Chountonov, in *Proc. Intern. Conf. on Magnetic Stars, Nizhniy Arkhyz, Russia, 2003*, Ed. by Y. V. Glagolevskij, D. O. Kudryavtsev, and I. I. Romanyuk (N. Arkhyz, 2004), pp. 286–291.
6. D. O. Kudryavtsev, *Baltic Astronomy* **9**, 649 (2000).
7. D. O. Kudryavtsev and I. I. Romanyuk, *Astronomische Nachrichten* **333**, 41 (2012).
8. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **69**, 427 (2014).
9. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **70**, 444 (2015).
10. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, D. O. Kudryavtsev, and A. V. Moiseeva, *Astrophysical Bulletin* **71**, 302 (2016).
11. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, D. O. Kudryavtsev, et al., *Astrophysical Bulletin* **72**, 391 (2017).
12. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **73**, 178 (2018).
13. G. Mathys, *Astron. and Astrophys.* **601**, A14 (2017).
14. P. Lenz and M. Breger, *Astrophys. Source Code Library*, record ascl:1407.009, 2014.

**Long-Term Variability in the Magnetic Field of the Ap Star  $\gamma$  Equ****I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, and E. S. Dmitrienko**

New measurements of the longitudinal magnetic field of the Ap star  $\gamma$  Equ obtained with the MSS spectrograph of the 6-m telescope of the SAO RAS in 2002–2018 are present. Analyzing our results together with all the available literature data sources of  $\langle B_z \rangle$  (441 measurements) we found the rotation period  $P = 89.1 \pm 4.2$  years (32 521 days). Fitting all the measurements with double sine-wave function resulted in two periods equal to 95.5 and 17.4 years (with the errors of 3.5 and 2 years correspondingly). According to our new estimate, the transition to positive values of  $\langle B_z \rangle$ , probably, will occur later than previously assumed, literally in 2031.

Keywords: *stars: individual:  $\gamma$  Equ*