

УДК 524.33

Поиск быстрых изменений магнитного поля у звезды γ Equ с использованием процедуры накопления и переноса изображения на ПЗС

Г.А. Чунтонов

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз
chunt@sao.ru

Поступила в редакцию 7 октября 2013 г.

Аннотация. Проводился поиск переменной составляющей магнитного поля у звезды γ Equ по четырем линиям NdIII на ОЗСП БТА с использованием процедуры накопления и циклического переноса электронного изображения зеемановского спектра на ПЗС. Время отдельной экспозиции было выбрано равным 1/8 части периода спектральной переменности. В наблюдениях 5/6 ноября 2003 г. у звезды γ Equ переменная составляющая магнитного поля с периодом 12.1 мин. не была обнаружена.

SEARCH FOR RAPID MAGNETIC FIELD VARIATIONS OF γ EQU USING BACK-AND-FORTH PROCEDURE, by G.A. Chountonov. A search for the rapid magnetic field variable component of the γ Equ star at MSS BTA was made using four lines NdIII with the accumulation and cyclic electron image Zeeman spectrum transfer at the CCD. The individual exposure time was chosen to be 1/8 of spectral variability period. The rapid variable magnetic field component with period of 12.1 min was not detected in 5/6 November 2003.

Ключевые слова: магнитные поля звезд, спектральная переменность

1 Введение

Куртц (1978) впервые нашел у звезды Пржибыльского HD101065 фотометрическую переменность с амплитудой $\Delta B = 0.^m012$ с периодом 12.141 мин. В настоящее время известно несколько десятков быстро осциллирующих холодных магнитных звезд. Такие звезды получили название гоАр-звезды. Обзоры по этим звездам были сделаны Куртцем (1990) и Мэтьюсом (1991). γ Equ (F0p, $m_v = 4.7$) относится к классу гоАр-звезд. У нее обнаружены регулярные изменения лучевых скоростей некоторых спектральных линий с периодом около 12 минут и амплитудой до 1000 м/с (Канаан, Хатцес, 1998; Саванов и др., 1999; Кочухов, Рябчикова, 2001; Кочухов и др., 2001). Леоне и Куртц (2003) нашли у нее с таким же периодом и переменное магнитное поле с амплитудой 110–240 Гс. За этим последовали измерения Кочухова и др. (2004а, 2004б) с отрицательным результатом. С ошибками 10–17 Гс они не обнаружили переменной составляющей поля. Известно, что переменная составляющая магнитного поля может появляться и исчезать со временем, как и фотометрическая переменность (Мэтьюс, 1991), поэтому ее поиск нужно продолжать.

2 Описание измерительного комплекса

В перечисленных работах процедура наблюдений состояла в получении большого числа спектров с коротким временем экспозиции. Оцифровка кадров при этом занимала значительную часть времени. Шум считывания растет как корень квадратный из числа оцифрованных кадров. Такой способ измерений нам представляется неэффективным. Мы провели поиск переменной составляющей поля γ Eri на основном звездном спектрографе (ОЗСП) 6-метрового телескопа с анализатором круговой поляризации в режиме накопления и циклического переноса изображения спектра на матрице ПЗС (Чунтонов и др., 2000). Анализатор (Чунтонов, 2007) содержит суперахроматическую четверть-волновую фазовую пластинку (Самойлов и др., 2004), щель (деккер) и лучеразводящую пластину Савара из исландского шпата. Пластинка расположена перед щелью анализатора. Щель анализатора установлена вместо штатной щели спектрографа ОЗСП. Фазовая пластинка может быть в двух положениях: 0 или 90 град. В процессе наблюдений она оставалась неподвижной в одном из положений. Лучевые скорости и магнитное поле измерялись в каждой фазе периода отдельно по 4-м линиям NdIII и усреднялись, а также по линиям других элементов, не показывающих переменность (Канаан, Хатцес, 1998; Кочухов и др., 2004а, 2004б), и тоже усреднялись. Затем проводилось вычитание вторых значений из первых, чтобы устранить дрейф спектрографа, и из каждого полученного значения вычиталось среднее по периоду значение. При числе строк у матрицы ПЗС 2048 и высоте двойного зеемановского спектра 54 строки можно разместить $2048/54 \simeq 38$ таких спектров. Мы ограничились 8, разбив период переменности спектральных линий у звезды γ Eri 12.1 мин. на 8 одинаковых частей по 90.75 сек.

3 Процедура измерений лучевой скорости и магнитного поля в режиме накопления и циклического переноса изображения спектра

Опишем процедуру работы программы. Сделаем экспозицию 90.75 сек. и передвинем электронное изображение спектра поперек дисперсии на расстояние, равное ширине зеемановского спектра (на 54 строки). Время переноса пренебрежимо мало. Продолжим процедуру еще 7 раз, а после 8-й экспозиции сдвинем электронное изображение всех 8-и спектров в обратную сторону в начальное положение. Это составит один цикл. Число циклов, время экспозиции, величину сдвига и количество сдвигов можно изменять при настройке программы. Необходимое число таких циклов определится величиной насыщения сигнала (пределом накопления ПЗС, которое составляет около 130000 носителей заряда). Если не делать циклы, то по сравнению с режимом многих экспозиций заметного преимущества по времени не будет, потому что время оцифровки фрагмента кадра зависит от величины этого фрагмента. Для используемой ПЗС время оцифровки одиночного зеемановского спектра шириной 54 строки составляет около 2 сек., а фрагмента матрицы из 8-и зеемановских спектров – около 20 сек. Только зацикливание поможет поднять эффективность измерений. В работе (Кочухов и др., 2004б) можно было уменьшить время измерений за счет оцифровки только той части кадра, которая содержит используемые линии NdIII. По предварительным измерениям на одном пикселе в одной поляризации за время экспозиции 90.75 сек. на ОЗСП от звезды γ Eri может накапливаться около 30000 носителей заряда. Следовательно, мы можем делать до насыщения $130000/30000 \simeq 4$ цикла. Запишем выражения для отношения сигнал/шум для трех режимов наблюдений.

- 1) Спектр копится m -ю долю периода и оцифровывается. При этом выполняется mn экспозиций, где n – число экспонированных периодов.
- 2) Спектр копится m -ю долю периода и передвигается на ПЗС, далее без оцифровки выполняется 2-я экспозиция и так m экспозиций со сдвигом за полный период. После этого производится оцифровка кадра с числом спектров m . Всего экспонируется n таких кадров.
- 3) Спектр копится m -ю долю периода, сдвигается и копится еще $m-1$ раз как и во втором случае, но не оцифровывается, а передвигается в исходное положение назад, и процесс выполняется n раз, после чего кадр оцифровывается. В этом случае интенсивность спектра в n больше, а оцифровок в n раз меньше, чем в случаях 1 и 2.

В первом случае затрачивается время:

$$T_1 = (t_{exp} + t_{dig}) \cdot mn. \quad (1)$$

Во втором случае время T_2 почти такое же, как и в первом случае, в предположении, что время, затрачиваемое на сдвиги, пренебрежимо мало

$$T_2 \approx T_1. \quad (2)$$

В третьем случае:

$$T_3 = (t_{exp} \cdot n + t_{dig})m, \quad (3)$$

где t_{exp} – время экспозиции m -й части периода, t_{dig} – время оцифровки кадра с одиночным зеемановским спектром. Предполагается, что на оцифровку одного кадра во втором случае затрачивается время приблизительно в m раз больше, чем в первом случае, т. к. он в m раз больше по размеру. Сравнивая выражения (1) и (3), видим, что время на оцифровку T_3 меньше, чем T_1 в n раз. Выигрыш во времени будет проявляться тем сильнее, чем слабее звезда: надо будет делать больше циклов n .

Отношение сигнал/шум будет приблизительно выглядеть так:
для случаев 1 и 2

$$(S/N)_1 \approx I_{cont} / \sqrt{I_{cont} + \sigma_{CCD}^2 m^2 n^2 k^2}, \quad (4)$$

для случая 3

$$(S/N)_3 \approx I_{cont} / \sqrt{I_{cont} + \sigma_{CCD}^2 m^2 k^2}, \quad (5)$$

где I_{cont} – интенсивность континуума спектра, σ_{CCD} – шум считывания одного пиксела, k – число строк, занимаемое одиночным зеемановским спектром. Сравнивая (4) и (5), видим, что в режиме циклирования отношение сигнал/шум выше при одинаковой интенсивности континуума I_{cont} .



Рис. 1. Вид фрагмента кадра в режиме накопления, сдвига и циклического переноса изображения спектров звезды γ Equ, полученного 2003.11.05/06

На рис. 1 представлен фрагмент кадра, содержащего 8 зеемановских спектров, полученных в режиме накопления, сдвига и циклического переноса электронного изображения спектров звезды γ Equ, полученного 2003.11.05/06. К сожалению, из-за облачности интенсивность спектров была ослаблена и заметно изменялась, что видно на поперечном разрезе, который изображен на рис. 2. Интенсивности отложены в количестве носителей заряда.

На рис. 3 показан фрагмент спектра звезды γ Equ, содержащий 3 линии NdIII 5802.54, 5845.02, 5851.54. Четвертая линия NdIII 5987.68, также использованная при измерениях магнитного поля, не показана. Факторы Ланде соответственно: 1.531, 1.101, 1.617 и 1.163. Обратная дисперсия около $0.183 \text{ \AA}/\text{pix}$. Глубина линий NdIII в спектрах ОЗСП 0.17 несколько меньше, чем у НЭС – 0.22 (Кочухов и др., 2004b).

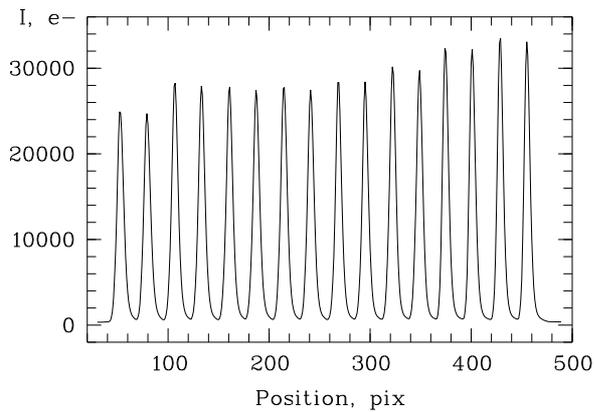


Рис. 2. Поперечный разрез спектра по рис. 1. Зависимость интенсивности I в количестве носителей заряда от положения на матрице ПЗС в пикселях

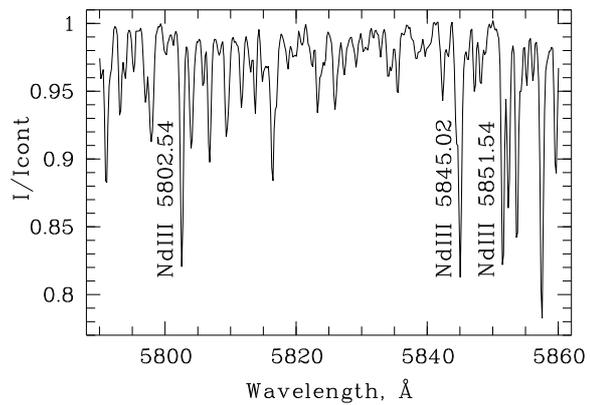


Рис. 3. Фрагмент спектра звезды γ Equ в области линий NdIII

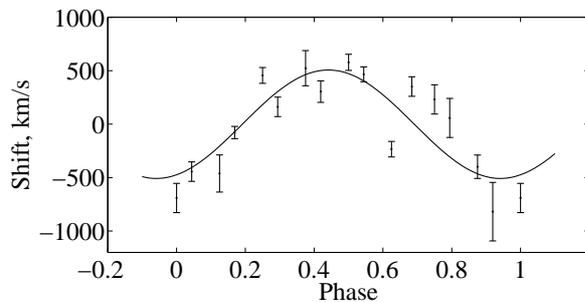


Рис. 4. Кривая изменений разности значений лучевой скорости, измеренной по линиям NdIII и по линиям других элементов, с фазой

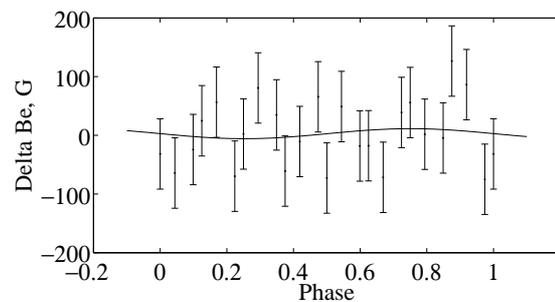


Рис. 5. Зависимость отклонений магнитного поля звезды γ Equ от среднего значения с фазой

4 Результаты измерений лучевой скорости по линиям NdIII

На рис. 4 показано изменение с фазой отклонений лучевой скорости звезды γ Equ от среднего значения. Лучевая скорость определялась по 4-м линиям NdIII по 2-м кадрам (в каждом кадре по 2 цикла). Из этих значений вычитались скорости, определенные по линиям других элементов, чтобы устранить дрейф спектрографа, и среднее значение этой разности по периоду. Проведение кривой (амплитуды и фазы косинусоиды) производилось методом наименьших квадратов на отрезке $[0,1]$. Выражение для нее имеет вид: $\text{Shift} = 535 \cos(2\pi t/P + 2\pi 0.54)$ (км/с), где t – момент наблюдений, $P = 12.1$ мин. – период сигнала. Амплитуда близка к значениям из работ (Канаан, Хатцес, 1998; Кочухов и др., 2001).

5 Результаты измерений магнитного поля

Зеемановские сдвиги определялись путем измерения разности положений гауссиан, вписанных в спектральные линии в разных круговых поляризациях по стандартной процедуре в среде МИДАС.

Таблица 1. Результаты измерений переменной составляющей магнитного поля ΔBe γ Eqr с фазой периода спектральной переменности

Phase	ΔBe , G
0	-31.74
0.044	-64.24
0.099	-24.29
0.125	24.76
0.169	56.41
0.224	-69.66
0.25	2.24
0.294	80.70
0.349	34.79
0.375	-60.94
0.419	-10.58
0.474	65.59
0.5	-72.79
0.544	49.01
0.599	-18.20
0.625	-17.77
0.669	-71.77
0.724	38.93
0.75	55.86
0.794	1.82
0.849	-4.44
0.875	126.53
0.919	86.33
0.974	-74.90

Соотношения между величиной зеемановского сдвига и магнитного поля взяты из работы Бэбкока (1947). В табл. 1 приведены результаты измерений переменной составляющей магнитного поля у звезды γ Eqr в зависимости от фазы периода спектральной переменности по 3-м кадрам и в каждом по 2 цикла. Они представляют собой разности значений магнитного поля, определенных по линиям NdIII и по линиям других элементов. Ошибка одного измерения составляет около 60 Гс.

На рис. 5 показана зависимость отклонений магнитного поля ΔBe -звезды γ Eqr от среднего значения поля с фазой, построенная по данным табл. 1. Подгонка кривой (амплитуды и фазы косинусоиды) производилась методом наименьших квадратов на отрезке [0,1]. Выражение для нее имеет вид: $\Delta Be = 8.5 \cos(2\pi t/P + 2\pi 0.25)$ (Гс), где t – момент наблюдений, $P = 12.1$ мин. – период сигнала. Из этого выражения и рис. 5 видно, что амплитуда сигнала значительно меньше ошибки отдельного измерения.

6 Заключение

В настоящей работе предложена новая методика измерений переменной составляющей периодического сигнала (лучевой скорости и магнитного поля) при известном его периоде. Методика продемонстрирована на примере измерений амплитуды и фазы лучевой скорости и магнитного поля у звезды γ Eqr. Значение амплитуды 535 км/с переменной составляющей лучевой скорости по 4-м линиям NdIII согласуется с результатами других авторов, а переменная составляющая магнитного поля 8.5 Гс значительно меньше ошибки отдельного измерения. Автор благодарит В.А. Мурзина за настройку программы накопления и циклического переноса на ПЗС и А.В. Додина за помощь при обработке данных. Используемая система ПЗС 2Кх2К была создана в Лаборатории перспективных разработок САО.

Литература

- Бэбкок (Babcock H.W.) // *Astrophys. J.* 1947. V. 105. P. 105.
 Леоне, Куртц (Leone F., Kurtz D.W.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 407. P. L67.
 Мэтьюс (Matthews J.M.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1991. V. 103. P. 5.
 Канаан, Хатцес (Kanaan A., Hatzes A.P.) // *Astrophys. J.* 1998. V. 503. P. 848.
 Кочухов, Рябчикова (Kochukhov O., Ryabchikova T.A.) // *Astron. Astrophys.* 2001. V. 374. P. 615.
 Кочухов и др. (Kochukhov O., Ryabchikova T.A., Piskunov N.) // *ASP Conf. Ser.* 2001. V. 248. P. L341.
 Кочухов и др. (Kochukhov O., Ryabchikova T.A., Landstreet J.D., Weiss W.W.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2004a. V. 351. P. L34.
 Кочухов и др. (Kochukhov O., Ryabchikova T.A., Piskunov N.) // *Astron. Astrophys.* 2004b. V. 415. P. L13.
 Куртц (Kurtz D.) // *Inf. Bull. Var. Stars.* 1978. N. 1436.
 Куртц (Kurtz D.) // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 1990. V. 28. P. 607.
 Саванов и др. (Savanov I.S., Malanushenko V.P., Ryabchikova T.A.) // *Astron. Lett.* 1999. V. 25. N. 12. P. 802.
 Самойлов и др. (Samoylov A.V., Samoylov V.S., Vidmachenko A.P., Perekhod A.V.) // *J. Quant. Spectro. Rad. Transf.* 2004. V. 88. P. 319.
 Чунтонов и др. (Chountonov G.A., Murzin V.A., Ivashchenko N.G., Afanasieva I.V.) // *Proc. of the Intern. Conf. Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars. N. Arkhыз. Russia.* 1999. / Eds Glagolevskij Yu.V., Romanyuk I.I. Moscow. 2000. P. 249.
 Чунтонов // *Методы спектроскопии в современной астрофизике.* / Под ред. Машонкиной Л.И. и Сачкова М.Е. Янус-К. Москва. 2007. С. 336.