ОПТОВОЛОКОННЫЙ МАГНИТОМЕТР ПЕРВИЧНОГО ФОКУСА БТА НА ОСНОВЕ ПОДВЕСНОГО ЭШЕЛЬНОГО СПЕКТРОГРАФА

Г. А. Чунтонов

© 2009

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 369167 пос. Нижний Архыз
e-mail: chunt@sao.ru

С целью повышения стабильности спектра и устранения влияния инструментальной поляризации диагонального зеркала на результаты измерений магнитного поля разработан и изготовлен оптоволоконный магнитометр первичного фокуса БТА на основе подвесного эшельного спектрографа. Магнитометр предназначен для измерений магнитных полей звезд и изучения их химического состава. Регистрируемый спектральный диапазон – 5000–6800 Å при средней обратной дисперсии 0.15 Å/пкл. По оценкам для звезд 9.5^m ошибка измерений магнитного поля составит 100 Гс за 0.5 часа экспозиции по 400 спектральным линиям.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении десятков лет в САО ведутся измерения магнитных полей звезд на Основном звездном спектрографе (ОЗСП) БТА. Спектрограф оптимален по некоторым параметрам для выполнения магнитных измерений: формирует высокий (около 400 пикселов) и почти плоский вдоль дисперсии спектр (во 2-м и 3-м порядках) и разрешение, соответствующее $v \sin i = 20$ км/с. Так как среднее значение $v \sin i$ для химически пекулярных звезд составляет около 50 км/сек, то это позволяет проводить измерения у большей части магнитных звезд. После оснащения спектрографа анализатором круговой поляризации с двойным резателем изображений и ПЗС-системой $2K \times 2K$ [1] эффективность измерений повысилась на полторы звездные величины, что позволило перейти к изучению звезд 10–11^m. Однако, такие недостатки, как позиционная нестабильность, составляющая около 1 пиксела за ночь, ограниченный спектральный диапазон (360 Å во 2-м и 240 Å в 3-м порядках), инструментальная поляризация диагонального зеркала БТА и потери света на зеркалах телескопа ограничивают эффективность измерений. С целью устранения перечисленных недостатков нами разработан магнитометр первичного фокуса, спектрограф которого подвешен в шаровом шарнире. Изменение наклона трубы телескопа не приводит к изменению механических напряжений в спектрографе, а вместе с ним и в криостате с ПЗС. При этом обеспечивается высокая позиционная стабильность. Создание магнитометра проходило в три этапа: создание подвесного спектрографа для телескопа Цейс-1000, создание магнитометра с перебросом света жгутом из оптического волокна из первичного фокуса БТА на щель ОЗСП и создание магнитометра на основе подвесного эшельного спектрографа первичного фокуса БТА.

ПОДВЕСНОЙ ВОЛОКОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА ЦЕЙС-1000

Схема подвески спектрографа на трубе телескопа была опробована на телескопе Цейс-1000. Был изготовлен призменный спектрограф низкого разрешения и волокна диаметром 50 мкм и 100 мкм в оплетках и оправах [2]. Головная часть, содержащая согласующую оптику и телевизионный подсмотр диафрагмы, размещалась на фланце телескопа. Собственно спектрограф с фотоприемником ПЗС 1040×1160 был подвешен на шарнире в нижней части трубы телескопа. В процессе наблюдений спектрограф и криостат не изменяли угла наклона, и это способствовало достижению высокой позиционной стабильности спектра. Волокно диаметром 50 мкм соответствовало размеру изображения около 3.5 сд и разрешению около 10 Å. Поперек дисперсии спектр занимал 5 пикселов. С волокном диаметром 100 мкм ширина спектра получалась в два раза больше, и это обеспечивало более высокую фотометрическую точность, так как неоднородности чувствительности ПЗС-приемника лучше сглаживаются. Спектрограф эффективно использовался для изучения депрессии в спектрах звезд на длине волны 5200 Å, когда требуется отношение сигнал/шум на спектре на уровне тысячи. На рис. 1. приведен результат деления спектра химически пекулярной звезды α^2 CVn на спектр нормальной звезды PGC 4702. Депрессия на 5200 Å ярко выражена. Спектр звезды 13^m с отношением С/Ш = 100 на столбец ПЗС в среднем получался за 10 мин экспозиции.

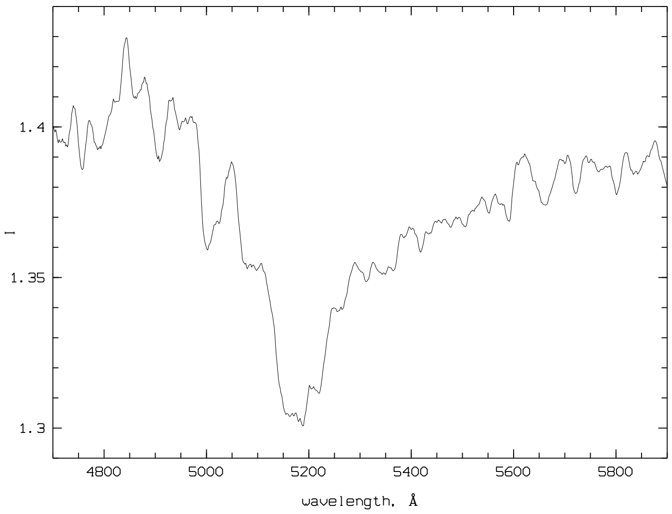

Рис. 1. Результат деления спектра химически пекулярной звезды α^2 CVn на спектр нормальной звезды PGC 4702

МАГНИТОМЕТР С ПЕРЕБРОСОМ СВЕТА ЖГУТОМ ИЗ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ИЗ ПЕРВИЧНОГО ФОКУСА БТА НА ЩЕЛЬ ОЗСП

Головная часть магнитометра размещается на поворотном столе первичного фокуса БТА. Сходящийся пучок света от звезды проходит ахроматическую фазовую пластинку, которая может дистанционно устанавливаться под углом 0 или 90°, круглую наклоненную диафрагму, отражающую часть света в телевизионный подсмотр, превращается линзовой системой в плоскопараллельный, делится дихроичной поляризующей светоделительной призмой на два пучка. Двумя линзовыми системами изображения диафрагмы строятся на торцах двух волокон жгута длиной 30 м. По волокнам свет от звезды из первичного фокуса поступает на балкон Нэсмит-2, а с помощью согласующего объектива изображения выходных торцов световодов строятся на входе специально изготовленного двойного резателя изображений ОЗСП, создающего по 5 срезов на каждую поляризацию. Возможность получать пары спектров в положении фазовой пластинки 0 и 90°, когда компоненты двойного зеемановского спектра меняются местами, позволяет уменьшить влияние неоднородности чувствительности ПЗС и позиционной нестабильности спектрографа на результаты измерений. На рис. 2. изображен спектр звезды γ Equ в области H_α, полученный в двух круговых поляризациях (5 верхних полосок в левой круговой поляризации и 5 нижних в правой). Значительные потери света на согласующей оптике и длинном волокне, а также нестабильность спектрографа ОЗСП и его небольшой спектральный диапазон, привели нас к решению изготовить эшельный спектрограф, который был бы подвешен в шаровом шарнире в непосредственной близости от фланца телескопа в кабине первичного фокуса БТА. Изменение угла наклона трубы телескопа при этом не приводит к изменению усилий на спектрограф, а вместе с ним и на криостат, так что обеспечивается высокая позиционная стабильность спектра.

ПОДВЕСНОЙ ВОЛОКОННЫЙ МАГНИТОМЕТР ПЕРВИЧНОГО ФОКУСА БТА

На рис. 3. изображена принципиальная схема подвесного волоконного магнитометра первичного фокуса БТА. Магнитометр состоит из двух частей. Одна из них, описанная выше, изображена на рисунке слева. Она является частью магнитометра с перебросом света жгутом из оптического волокна из первичного фокуса БТА на вход ОЗСП, а другая представляет собой подвешенный в шаровом шарнире эшельный спектрограф. Вместо жгута длиной 30 м используется жгут длиной 1.5 м. На выходном конце жгута волокна сложены вместе, на торцы наклеена щелевая диафрагма. Эта диафрагма шириной 60 мкм находится в фокусе коллиматорного зеркала эшельного спектрографа и обеспечивает необходимое спектральное разрешение. Все элементы магнитометра кроме ахроматической фазовой пластинки просветлены.

На рис. 4 изображен эшельный спектр звезды γ Equ, полученный в двух круговых поляризациях за 5 мин экспозиции, а на рис. 5 – фрагмент экстрагированного 5-го порядка снизу этого спектра в двух поляризациях. Был измерен сдвиг между линиями в этих двух поляризациях и определено значение магнитного поля, которое составило $B_e = -920\pm70$ Гс.

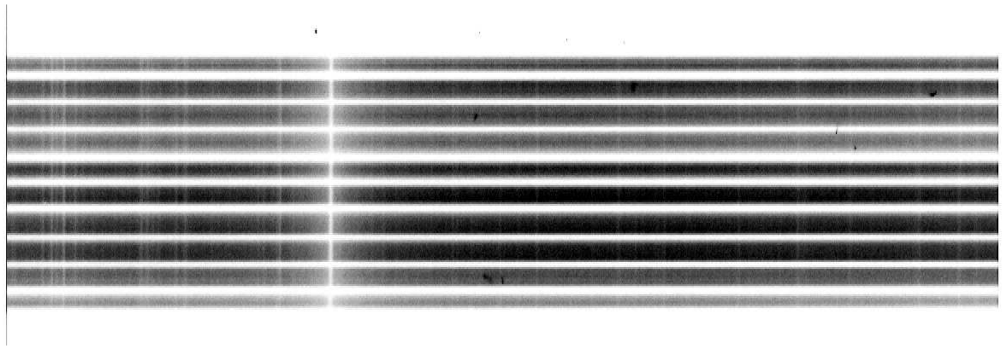

Рис. 2. Спектр звезды γ Equ, полученный на ОЗСП с двойным резателем изображений в области H_α в двух поляризациях с перебросом света жгутом из двух волокон из первичного фокуса БТА

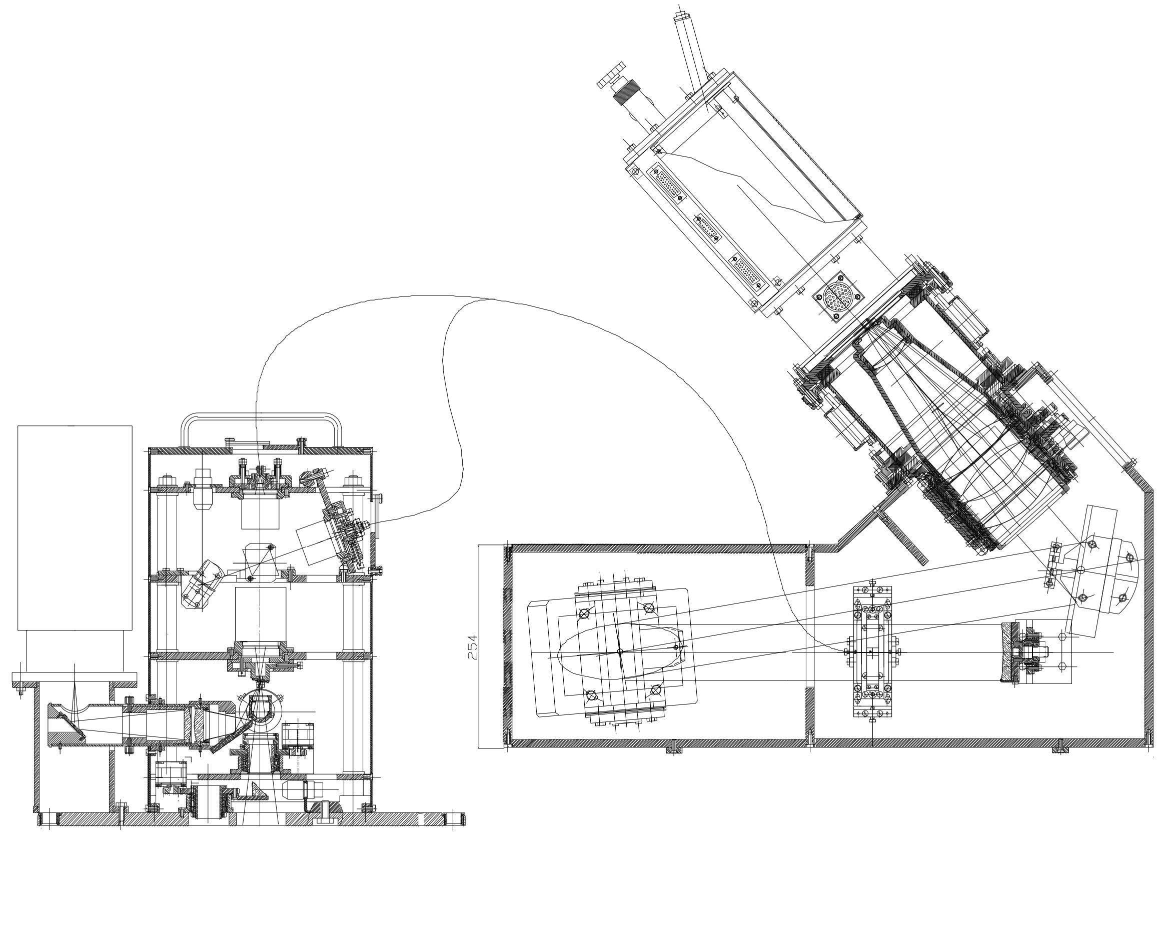

Рис. 3. Принципиальная схема магнитометра первичного фокуса БТА

Рис. 4. Эшельный спектр звезды γ Equ в двух круговых поляризациях

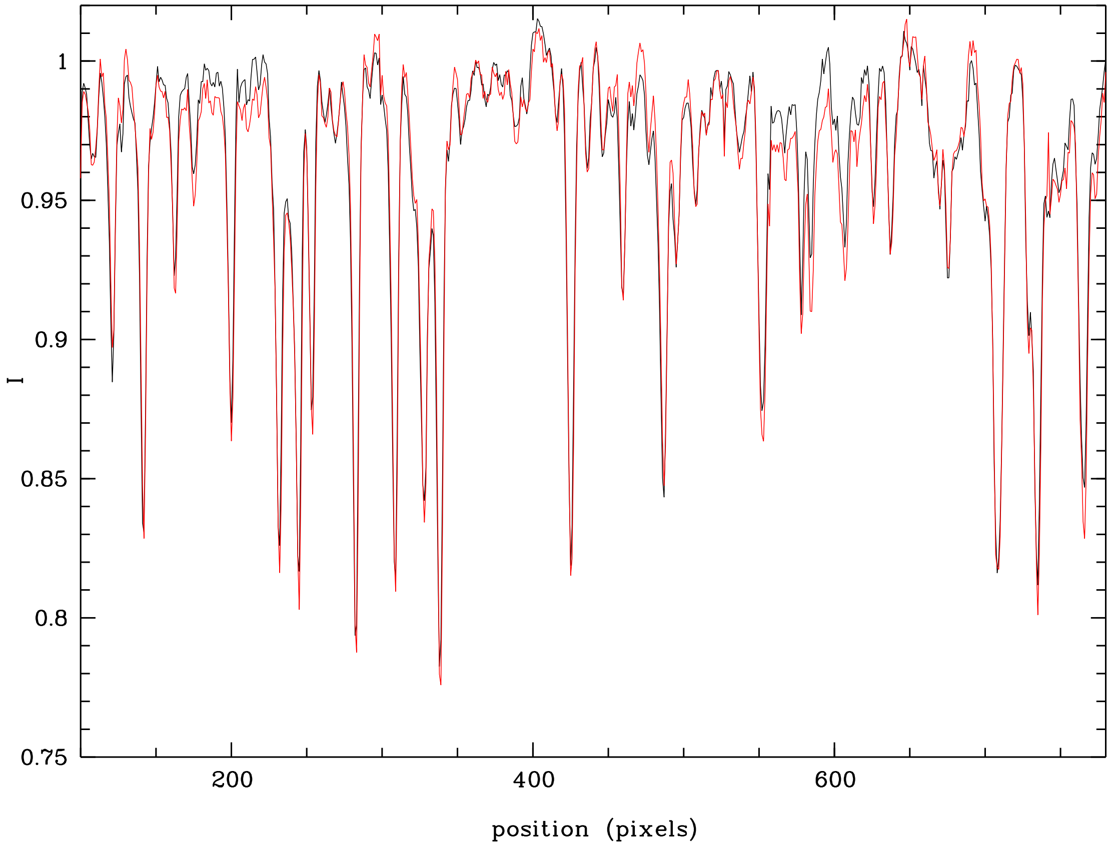

Рис. 5. Фрагмент экстрагированного 5-го порядка спектра γ Equ в двух поляризациях

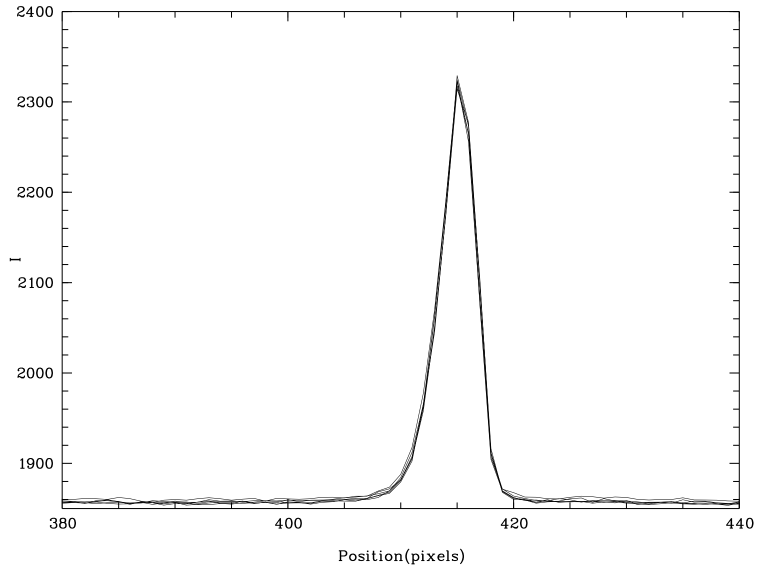

Рис. 6. Наложенные друг на друга спектры неона, полученные в течение ночи во время параллельных наблюдений на ОЗСП

На рис. 6 приведены несколько наложенных друг на друга спектров неона, полученных в течение ночи при разных положениях трубы телескопа, который находился в режиме наблюдений на ОЗСП. Положение линии неона сохранялось в пределах не хуже ±0.02 Å.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОМЕТРА

– Спектральный диапазон 5000–6800 Å без пропусков.
– Обратная дисперсия в области линий натрия NaD – 0.15 Å/пкл.
– Высота двойного спектра в пикселах – 46 (диаметр коллимированного пучка – 70 мм, угол блеска эшельной решетки – 64°, кросс-дисперсор – решетка 600 штр/мм, камера F:1.6; приемник – ПЗС 1040×1160 и 16×16 мкм^2).
– Эффективность регистрации спектра – 5^m за 300 с, С/Ш = 300.
– Диаметр волокон – 300 мкм, что соответствует 3.5 сд на небе.
– Ожидаемая средняя ошибка измерений магнитного поля – 100 Гс у звезды 9.5^m за 0.5 часа экспозиции по 400 линиям.
– Стабильность положения спектра не хуже ±0.02 Å за ночь.

Опробован вариант жгута из 15 волокон $(2 \cdot 7 + 1)$ диаметром по 100 мкм. Хотя пропускание света увеличилось в 2 раза, длина спектра сократилась в 1.5 раза, и пришлось передвинуть спектр в красную область (спектр начинается с 6300 Å), чтобы порядки не перекрывались. Для компенсации потерь необходимо использовать более эффективный кросс-дисперсор (например, решетку с 1200 штр/мм) и большего размера матрицу ПЗС. Потребуется также замена камерного объектива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан и запущен в пробную эксплуатацию оптоволоконный магнитометр первичного фокуса БТА на основе подвесного эшельного спектрографа. Автор благодарит В. В. Власюка и Ю. В. Глаголевского за поддержку работы, а Э. Б. Гажура за помощь при конструировании магнитометра.

[1] *Chountonov G. A.* New equipment for measuring stellar magnetic fields at 6m telescope // Magnetic stars: Proc. Intern. Conf., N. Arkhyz, 27–31 Aug 2003 / Eds Yu. V. Glagolevskij, D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk. – M., 2004, P. 286–291.

[2] *Чунтонов Г. А.* Призменный спектрометр низкого разрешения (FFLRS), соединенный оптическим волокном с телескопом Цейсс-1000 // Отчет САО. – 2000. – № 275.