
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 524.523, 535-4
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-12-1018-1027

СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЯ ЗВЕЗД НА 6-МЕТРОВОМ ТЕЛЕСКОПЕ БТА I. СПЕКТРОГРАФЫ ФОКУСОВ НЭСМИТА

В. Е. ПАНЧУК^{1,2}, В. Г. КЛОЧКОВА¹, М. В. ЮШКИН¹,
Г. В. ЯКОПОВ¹, Ю. Б. ВЕРИЧ¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 369167, Нижний Архыз, Россия
E-mail: panchuk@ya.ru

²Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

Описана конструкция спектрографов, размещенных на платформах фокусов Нэсмита 6-метрового телескопа. Рассмотрены спектрографы скрещенной дисперсии НЭС и Лунх (разведение высоких порядков осуществляется дифракционными решетками) и спектрограф среднего разрешения (разведение средних порядков осуществляется призмой), а также классический дифракционный спектрограф. Эти спектрографы могут быть относительно быстро подготовлены к наблюдениям как по основным научным программам, так и в качестве резервной аппаратуры. Для измерения круговой и линейной поляризации в звездных спектрах необходимо накопить большой сигнал, обеспечить хорошее спектральное разрешение, а также выполнить калибровку, необходимую для учета инструментальных эффектов.

Ключевые слова: большой телескоп, спектрограф, анализатор поляризации, матрица ПЗС, параметры Стокса, спектры звезд

Введение. Астрономические спектрографы являются основным прибором навесной аппаратуры большинства телескопов. При создании БТА — телескопа с диаметром объектива $D=6$ м [1], в Государственном оптическом институте (ГОИ) и на Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО) были разработаны четыре спектрографа различного назначения, ориентированные на фотографическую регистрацию [2, 3] или на применение электронно-оптических преобразователей (ЭОП) [4, 5]. В спектрографах второго поколения были использованы одномерные или двумерные телевизионные системы счета фотонов. Эти спектрографы были изготовлены уже непосредственно в Специальной астрофизической обсерватории (САО) либо представляли собой приборы первого поколения, реконструированные под новые типы светоприемников. Третье поколение спектрографов, разработанных в САО, ориентировано на применение матриц ПЗС. Основные данные по развитию методов спектроскопии высокого разрешения на БТА опубликованы в [6], информацию об использовании спектрографов первого и второго поколений по 1997 г. включительно можно найти в [7]. На сегодня комплекс аппаратуры БТА для спектроскопии звезд включает приборы с высоким [8—11] и умеренным [12] спектральным разрешением $R=\lambda/\delta\lambda$.

Обзор техники спектрополяриметрии звезд, используемой на различных телескопах (по состоянию до 2004 г.) представлен в работе [13]. Эффекты линейной и круговой поляризации в звездных спектрах составляют, как правило, проценты и доли процента от уровня сигнала,

накопленного на элементе спектрального разрешения. Следовательно, для спектрополяриметрических наблюдений предпочтительнее использовать телескоп большого диаметра, с помощью которого можно получить высокое отношение сигнал/шум, S/N . Поэтому практически все спектральные приборы БТА оснащались различными анализаторами круговой и линейной поляризации. Используемые сегодня спектрографы не соответствуют требованиям новых наблюдательных программ на БТА по диапазону значений R и другим характеристикам. В предлагаемой статье представлены методические разработки, направленные на расширение возможностей БТА в спектроскопии и спектрополяриметрии звезд с высоким и умеренным разрешением.

Фокусы Нэсмита 6-метрового телескопа. Для фотографической спектроскопии звезд с высоким разрешением требовались многочасовые экспозиции, а подвесные спектрографы не обладали достаточной механической и температурной стабильностью. Поэтому в XX веке были построены (призменные, а затем дифракционные) спектрографы неподвижного фокуса кудэ (фр. *coudé* — ломаный). Размеры этих спектрографов были сравнимы с размерами конструкции телескопа (см., например, [14]).

БТА является первым большим телескопом, установленным на альт-азимутальной монтировке [1], для которой, на момент его разработки, технические решения вариантов построения изображения в неподвижном фокусе не „просматривались“. Габаритные спектрографы фокусов Нэсмита размещаются на платформах опор горизонтальной оси телескопа и в объеме одной из опор, т.е., находятся на подвижной части конструкции телескопа (рис. 1, 1 — нижний подшипниковый узел, 2 — блок колес привода вращения по азимуту (А), 3 — вертикальная ось, 4 — опоры жидкостного трения, 5 — сферическое кольцо, 6 — платформа опорно-поворотной части, 7 — оправа с главным зеркалом (ГЗ), 8 — нижнее кольцо, 9 — нижние штанги, 10 — стойки горизонтальной оси, 11 — несущие кронштейны спектрографов, 12 — балконы, 13 — консольные балки, 14 — гидростатические подушки горизонтальной оси, 15 — кабельный барабан, 16 — диагональное плоское зеркало, 17 — верхние штанги, 18 — верхнее кольцо, 19 — стакан первичного фокуса, 20 — кабина наблюдателя, 21 — шестерни привода оси зенитного расстояния (z), 22 — средник трубы, 23 — лифты, Н1 и Н2 — площадки фокусов Нэсмита, ПФ — положение первичного фокуса ГЗ).

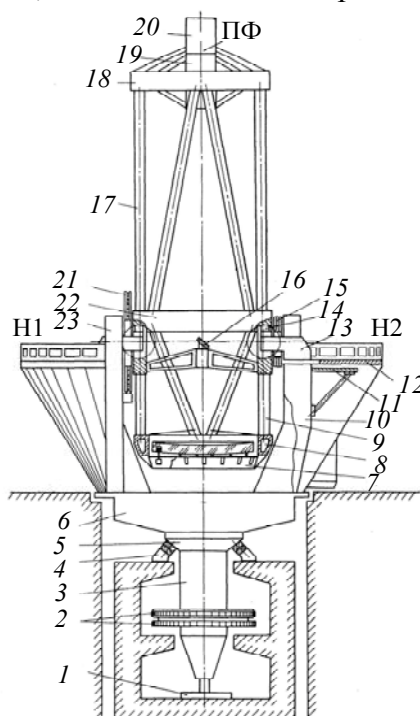


Рис. 1

Для наблюдений в фокусе Нэсмита в нижней части стакана первичного фокуса 19 используется выпуклое гиперболическое зеркало М2, изменяющее относительное отверстие сходящегося пучка от 1:4 до 1:30,7. Отраженный пучок перехватывается третьим, плоским зеркалом М3 16 и направляется внутри полой оси z на один из балконов 12 фокусов Нэсмита (Н1 или Н2). Общим недостатком спектрополяриметров, расположенных в Н1 и Н2, является инструментальная поляризация, возникающая на плоском зеркале М3. В телескопе, установленном на альт-азимутальной монтировке, при наведении и сопровождении объекта поле зрения вращается. Поэтому в первичном фокусе БТА для компенсации вращения поля зрения применяется поворотный стол (на котором монтируется тот или иной спектрограф), движущийся вокруг главной оптической оси 6-метрового зеркала М1 (движение по углу Р2). Габариты и масса приборов, расположенных в фокусах Нэсмита, на порядок превышают эти характеристики приборов первичного фокуса, поэтому для компенсации вращения поля следует использовать оптическую систему (систему зеркал или призму Довэ). Такими системами были оснащены планетный спектрограф [2] и основной звездный спектрограф, ОЗСП [3]. Зеркальный или призмный компенсаторы вращения поля (по углу Р1, в фокусах Н1 и Н2), имеющие плоские поверхности, вносят дополнительную инструментальную поляризацию, изменяющуюся в течение экспозиции. Поэтому при измерениях четырех параметров Стокса на спектрографах фокусов Нэсмита должна учитываться инструментальная составляющая.

Основной звездный спектрограф фокуса Н2 (ОЗСП). Подавляющий объем измерений круговой поляризации выполняется на ОЗСП (рис. 2. Разрез в вертикальной плоскости, проходящей через ось зенитного расстояния — „ Z^c “. 1 — канал подзора поля, 2 — блок сменных предщелевых устройств, 3 — поворотное зеркало, 4 — щель, 5 — место ввода порядкоразводящей призмы, 6 — зеркало коллиматора, 7 — дифракционная решетка светосильных камер, 8 — коррекционная пластина камеры Шмидта, 9 — зеркало камеры Шмидта, 10 — плоское зеркало в сходящемся пучке и полеспрямляющая линза, I—IV — уровни пола этажей, V — объем, занимаемый эшелле-спектрографами. Оптические элементы, не используемые в режиме спектрополяриметрических наблюдений, не обозначены).

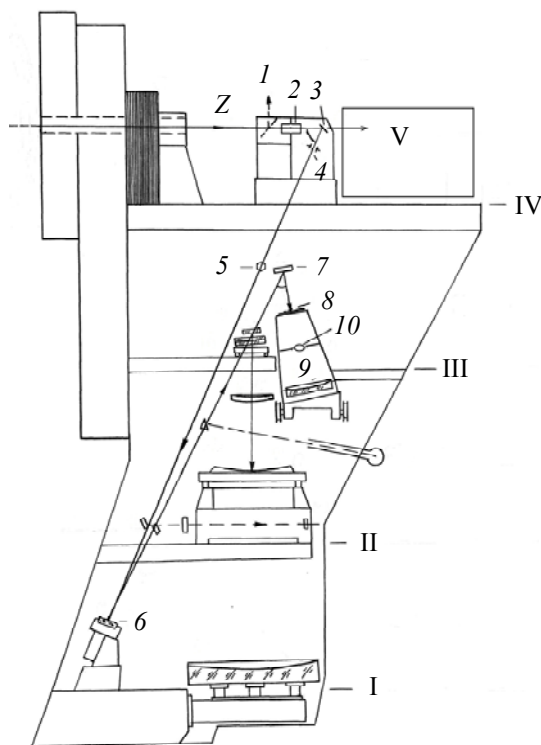


Рис. 2

Основной звездный спектрограф [11] является результатом глубокой модернизации фотографического спектрографа [2], он приспособлен для наблюдений с использованием ПЗС-матриц при разрешении $R=4000\text{—}14\,000$ в (1—4)-м порядках дифракции. Среди однопорядковых (работающих в выделенном спектральном порядке дифракции) спектрографов ОЗСП является „рекордсменом“ по диаметру коллимированного пучка ($d=258$ мм), полностью перехватываемого сменными дифракционными решетками (размер заштрихованной области 360×320 мм). Спектральное разрешение, достигаемое на телескопе диаметром D , при использовании дифракционной решетки (когда коллимированный пучок падает на нее по нормали к рабочей грани штриха), можно оценить по формуле $R=2dtg\theta_b/sD$, где θ_b — угол блеска дифракционной решетки, s — ширина щели спектрографа (в угловой мере). Для спектрографов, работающих в низких порядках дифракции (когда плотность штрихов большая, а угол блеска составляет несколько градусов), основным резервом повышения R является увеличение d . При относительном отверстии 1:30,7 фокусное расстояние зеркального коллиматора (рис. 2, б) составляет $F_{\text{coll}}=7929$ мм, это определяет большие габариты ОЗСП, занимающего четыре этажа опоры оси z . Нормальная ширина щели s , согласованная с размером элемента разрешения светоприемника, составляет всего $0,4''$, поэтому для повышения световой эффективности спектрограф преимущественно используется с „резателями“ изображения [11].

Поляриметрические устройства устанавливаются в предщелевой части ОЗСП (рис. 2, 2). В первых вариантах ОЗСП использовался ахроматический анализатор круговой поляризации [15], состоящий из двух ромбов Френеля и кристалла исландского шпата между ними. Такая конструкция обеспечивала равное значение интенсивности в спектрах левой и правой круговой поляризации, поэтому анализатор успешно использовался при первых спектрополяриметрических наблюдениях магнитных звезд в скоплениях и ассоциациях [16]. При наблюдениях с использованием анализатора круговой поляризации можно оценить (по относительным сдвигам зеемановских составляющих магниточувствительных линий) только продольную составляющую вектора магнитного поля. Позже этот анализатор был дооснащен ахроматической четвертьволновой пластинкой (схема анализатора на ромбах Френеля приведена в работе [17]), что позволяет в течение трех экспозиций (две при различной ориентации оси фазосдвигающей пластинки и одна — без пластинки) получить параметры линейной и круговой поляризации.

Для ОЗСП был также разработан анализатор с лучеразводящей пластиной Савара и суперахроматической фазовой пластинкой [18], позволяющий работать и при низком качестве звездных изображений.

Светосильный эшелле-спектрограф фокуса Н2 (Lynx). В спектрографах скрещенной дисперсии (эшелле-спектрографах), где разведение высоких спектральных порядков обеспечивается дифракционной решеткой, поляризующие действия эшелле и решетки скрещенной дисперсии ортогонально направлены. Это может приводить к снижению пропускания спектрографа. Тем не менее популярность спектрографов скрещенной дисперсии возрастает по следующим причинам. Во-первых, за счет работы в более высоких порядках дифракции можно увеличить спектральное разрешение R . Во-вторых, длина порядка обратно пропорциональна его номеру m , поэтому длину высокого порядка легче согласовать с форматом современных светоприемников (размер доступных матриц ПЗС 2—4 см). В-третьих, в спектрографах скрещенной дисперсии длина одновременно регистрируемого диапазона увеличивается до 150—300 нм, поэтому эффективность спектрополяриметрии на эшелле-спектрографах повысилась после появления ахроматических фазосдвигающих пластинок.

Спектрограф Lynx (рис. 3, 1 — турель с деккерами, 2 — поворотная призма, 3 — затвор, 4 — зеркальный коллиматор, 5 — решетка скрещенной дисперсии 600 штр/мм, 6 — решетка скрещенной дисперсии 300 штр/мм, 7 — решетка скрещенной дисперсии 150 штр/мм, 8 — плоское зеркало, 9 — решетка эшелле 75 штр/мм, 10 — решетка эшелле 37,5 штр/мм, 11 —

коррекционная пластина камеры Шмидта, 12 — сферическое зеркало камеры Шмидта, 13 — плоское ломающее зеркало в сходящемся пучке, 14 — криостат с матрицей ПЗС, 15 — поворотное зеркало оптики коллиматора спектрографа НЭС) является модификацией эшелле-спектрографа [8]: заменен камерный объектив (что обеспечивает $R=35\,000$) и расширен набор диспергирующих элементов. В новой схеме пучок, расходящийся после щели (деккера), проходит через центральное отверстие одной из решеток скрещенной дисперсии и попадает на коллиматор. Коллимированный пучок попадает сначала на рабочую поверхность решетки скрещенной дисперсии, затем на эшелле ($\text{tg}\theta_b=2$). Комбинируя одну из двух эшелле с одной из трех решеток скрещенной дисперсии, можно получить шесть вариантов изображений спектра, часть которых имеет разведение порядков, оптимальное для применения анализатора с двулучепреломляющим элементом (когда каждый спектральный порядок изображается дважды).

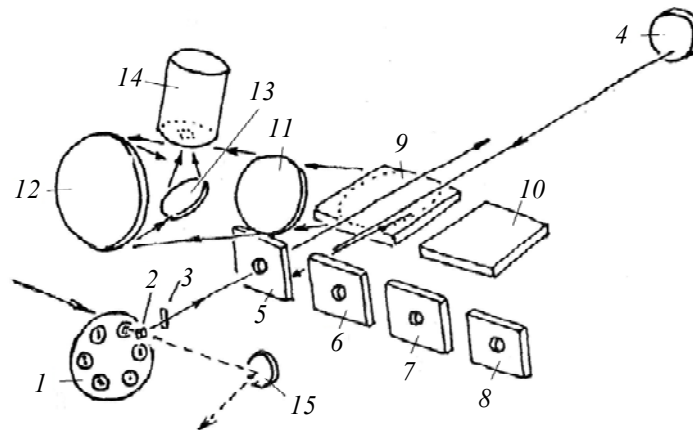


Рис. 3

На рис. 4 приведены фотометрические разрезы одного из порядков эшелле-спектра, зарегистрированного в круговой поляризации разных знаков. Чтобы увидеть различия, связанные с проявлением эффекта Зеемана в абсорбционных линиях, один разрез сдвинут по шкале относительных интенсивностей на 0,1 (1,0 — интенсивность непрерывного спектра).

Кроме спектрополяриметрических наблюдений известных магнитных звезд на спектрографе Луна выполнены поисковые программы. Так, например, при зеемановской спектрополяриметрии звезды R CrV была обнаружена продольная составляющая магнитного поля.

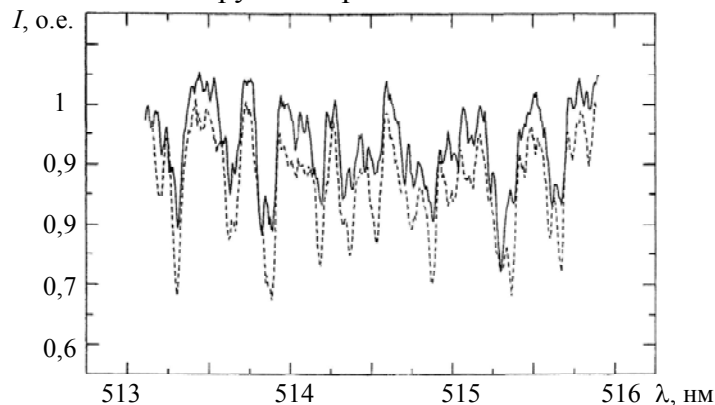


Рис. 4

Кварцевый эшелле-спектрограф фокуса Н2. Основным средством спектроскопии высокого разрешения на БГА является нэсмитовский эшелле-спектрограф (НЭС, [10]), кварцевая корректирующая оптика камеры которого позволяет работать с $R=60\,000$ — $75\,000$ в широком диапазоне длин волн (включая наземный ультрафиолет, [19]). Изготовленная на ЛОМО по техническому заданию одного из авторов настоящей статьи (ПВ) камера с внешним фокусом предназначалась для расширения возможностей основного звездного спектрографа [3]

путем применения ЭОП. По результатам применения первых спектрографов скрещенной дисперсии для фокуса Нэсмита БТА (диаметр коллимированного пучка $d=100$ мм [8, 20]) было изменено назначение камеры с внешним фокусом и на ее основе был построен НЭС (рис. 5, 1 — локальный корректор изображения звезды, 2 — узел калибровок, 3 — платформа предщелевых устройств, 4 — узел деккеров и резателей, 5 — первое зеркало коллиматора, 6 — второе зеркало коллиматора, 7 — параболическое зеркало коллиматора, 8 — составная эшелле, 9 — узел сменных решеток скрещенной дисперсии, 10 — коррекционная пластина Шмидта, 11 — зеркальная оптика камеры, 12 — криостат с матрицей ПЗС). Большой диаметр коллимированного пучка ($d=240—270$ мм, второе место в мировом рейтинге эшелле-спектрографов) удалось реализовать, установив так называемую мозаичную эшелле-решетку, состоящую из двух частей (размер заштрихованной области каждой части 300×300 мм. Спектрограф НЭС последовательно использовался с матрицами ПЗС форматом 1x1К (с 1998 г.), 2Кx2К (с 2000 г.) и 2Кx4К (с 2011 г.). Чтобы регистрировать каждый порядок в двух компонентах поляризации, НЭС оснащен сменными решетками скрещенной дисперсии, с плотностью 300 и 600 штр/мм, размер заштрихованной области 360×320 мм. Используя такие решетки при наблюдениях в ближнем ИК и видимом диапазонах соответственно, можно рационально использовать светоприемник формата 2Кx4К.

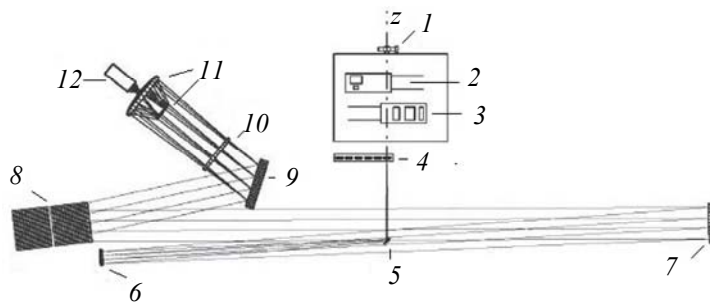


Рис. 5

Значения отношения фокусных расстояний коллиматора и камеры $F_{\text{coll}}/F_{\text{cam}}$ ОЗСП и НЭС практически одинаковы: 13,1 и 12 соответственно. Это означает, что и на входе в НЭС изображение звезды необходимо разрезать на фрагменты, ширина каждого из которых согласована с элементом разрешения матрицы ПЗС. В наблюдениях без анализатора поляризации используется резатель звездного изображения [21], разделяющий (при помощи двух микропризм) изображение звезды на три сегмента одинаковой ширины, в результате каждый спектральный порядок изображается три раза. Для НЭС разработан анализатор поляризации [22], совмещенный с резателем изображения (рис. 6, 1 — сменные фазосдвигающие пластинки, $(\lambda/4$ и $\lambda/2$), 2 — двулучепреломляющий кристалл, 3 — двойной деккер (ширина измеряется по нормали к плоскости рисунка), 4 — микропризмы полного внутреннего двойного отражения, 5 — пучки, прошедшие через призмы, 6 — пучки, прошедшие мимо призм). При этом каждый спектральный порядок изображается четыре раза (рис. 7, внутренние полоски каждого порядка сформированы пучками, прошедшими мимо микропризм), поскольку изображение турбулентного диска звезды в каждой круговой поляризации разрезается пополам.

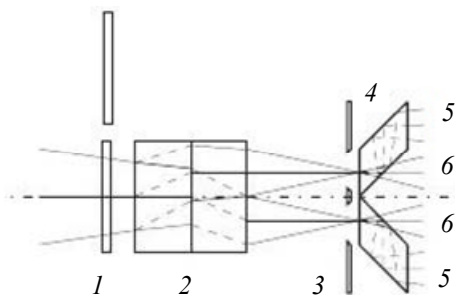


Рис. 6

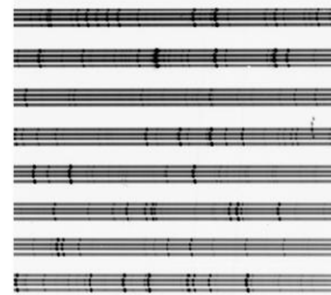


Рис. 7

Анализатор измерителя параметров Стокса работает в сходящемся пучке (1:30). Свет звезды, проходя через фазосдвигающую пластинку $\lambda/4$ в случае измерения круговой поляризации или пластинку $\lambda/2$ — при измерении линейной поляризации, попадает на двулучепреломляющий кристалл (рис. 6, 2). Этот кристалл расщепляет изображение звезды в фокальной плоскости телескопа на две ортогонально поляризованные составляющие. Для симметричного разведения обыкновенного и необыкновенного лучей относительно оптической оси телескопа двулучепреломляющий кристалл склеен из двух половинок, оси которых развернуты относительно друг друга на 90° . Входная щель спектрографа выполнена в виде двойного деккера (рис. 6, 3) с микропризмами (4), причем ширина микропризмы равна половине ширины деккера. Призмы расположены так, что перекрывают половину ширины деккера. Свет звезды, прошедший через свободную половину деккера, попадает непосредственно в спектрограф. Свет, попавший на часть деккера, закрытую призмой, при прохождении через нее испытывает полное внутреннее отражение, в результате пучки смещаются и формируют внешние полосы изображений порядков. При фокусном расстоянии коллиматора $F_{\text{coll}}=7200$ мм относительная дефокусировка пучков, прошедших через микропризмы и мимо последних, незначительна. По сравнению с анализатором на ромбах Френеля [18] пропускание анализатора с резателями [22], в режиме измерения круговой и линейной поляризации в среднем увеличилось втрое по диапазону длин волн.

Спектрографы НЭС и Лупх конструктивно объединены на платформе, установленной на несущих кронштейнах (рис. 1, 11). Применение сменных дифракционных решеток в качестве элементов скрещенной дисперсии позволяет изменять расстояние между соседними порядками эшелле-спектра, т.е. использовать эти спектрографы в программах спектрополяриметрии звезд с высоким разрешением без изменения относительного расположения основных элементов спектрографов.

Спектрограф умеренного разрешения фокуса Н1. Идея альт-азимутальной монтировки оказалась продуктивной не только для решения технических задач экваториальной монтировки крупных телескопов, но и для снижения эксплуатационных расходов по подготовке спектрального оборудования. На БТА изначально предполагалось держать готовыми к наблюдениям максимум три спектральные системы: одну — в ПФ [4], одну, стационарную, — в Н2 [3], одну в Н1, устанавливая поочередно планетный [2] или эшелльный [5] спектрографы. Смена аппаратуры в ПФ завершается балансировкой трубы (перемещением противовесов внутри полых верхних штанг, см. рис. 1, 17).

Смена аппаратуры в Н1 весьма трудоемка, она требует балансировки всего телескопа (перемещения противовесов внутри платформы опорно-поворотной части с контролем состояния опор жидкостного трения, соответственно 6 и 4 на рис. 1). С 2000 г. в Н1 стационарно размещен спектрограф умеренного разрешения со скрещенной дисперсией [12]. Постоянное наличие спектрографа умеренного разрешения на БТА позволяет регистрировать интересные астрономические события, не попавшие в график, составляемый Программным комитетом на полгода вперед. Спектрограф имеет зеркальный коллиматор ($F_{\text{coll}}=3500$ мм, $d=115$ мм), призму скрещенной дисперсии (ТФ5, $A=50^\circ$) и решетку-эшеллет ($\theta_b=30^\circ$, 150 штр/мм). Используется камера Боуэна—Попова, ранее применявшаяся в спектрографе с ЭОП [5] и в спектрографе с двумерной телевизионной системой счета фотонов [23], при $d=130$ мм. Значение $R=4000$ лежит между спектральным разрешением универсального спектрографа в ПФ [24], ориентированного на спектроскопию слабых объектов, и разрешением ОЗСП ($R=7000$ —14 000), на котором с $R=14 000$ в спектрах ярких квазаров измерялись положения абсорбционных компонентов линий легких ионов [25].

Для фокуса Н1 разработан анализатор с компенсационным клином [17]. Перемещение клина параллельно оси z позволяет изменять расстояние между компонентами поляризации, этот прием использовался еще в однопорядковом спектрографе, где счет фотонов осуществлялся с двух линеек спектра [26].

Вспомогательные средства. Вспомогательными средствами для спектроскопии и спектрополяриметрии в фокусах Н1 и Н2 являются устройства, общие для нескольких спектрографов. Например, для ОЗСП, Lynx и НЭС используется общая предщелевая часть, которая кроме сменных анализаторов поляризации содержит средства калибровки и другие оптоэлектронные узлы. При наблюдениях на БТА достаточно часто встречаются ситуации, когда в режиме сопровождения проекта центр изображения звезды смещается относительно центра щели (деккера) спектрографа. Причиной таких квазипериодических колебаний являются как вариации атмосферных условий (атмосферные гравитационные волны), так и собственные колебания конструкции телескопа, возникающие в переходных режимах работы системы управления телескопом. Поэтому разработаны и используются различные схемы корректоров положения изображения звезды [27—29]. Эллиптическая поляризация, возникающая при наклоне плоскопараллельной пластины корректора [27], не превышает 0,9 %. В предщелевой части могут быть установлены: компенсатор вращения поля, интерферометр Фабри—Перо, абсорбционная ячейка, заполненная парами йода.

Все дифракционные решетки для перечисленных спектрографов были изготовлены в ГОИ им. С. И. Вавилова (лаборатория дифракционных решеток, Э. А. Яковлев, Е. В. Уханов). Оптика всех используемых нами поляриметрических узлов разработана доктором технических наук И.Д.Найденовым. Работа по совершенствованию систем управления поляриметрическими узлами частично поддержана грантом РФФ, проект 14-50-00043, направление „Магнитометрия звезд“. Работа по реконструкции оптической схемы светосильного эшелле-спектрографа фокуса Н2 (Lynx) поддержана РФФИ (проект 16-02-00587).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иоаннисиани Б. К.* Телескоп с диаметром зеркала 6 метров. I. Исходные данные // *Астрофизические исследования (Изв. Специальной астрофизической обсерватории)*. 1971. Т. 3. С. 3—18.
2. *Гусев О. Н., Зандин Н. Г., Лобачев М. В.* Планетный спектрограф // *Оптико-механическая промышленность*. 1976. № 12. С. 63—64.
3. *Васильев А. С., Евзеров А. М., Лобачев М. В., Пейсахсон И. В.* Основной звездный спектрограф БТА // *Оптико-механическая промышленность*. 1977. № 2. С. 31—34.
4. *Зандин Н. Г., Колесников А. Е., Пейсахсон И. В., Лобачев М. В.* Светосильный спектрограф с ЭОПом для главного фокуса БТА // *Оптико-механическая промышленность*. 1977. № 2. С. 34—37.
5. *Зандин Н. Г., Гусев О. Н., Пейсахсон И. В.* Звездный спектрограф со скрещенной дисперсией // *Оптико-механическая промышленность*. 1977. № 6. С. 20—23.
6. *Панчук В. Е., Ключкова В. Г.* 30 лет работы БТА: спектроскопия высокого разрешения // *Специальная астрофизическая обсерватория. 40 лет. Нижний Архыз, 2006*. С. 32—67.
7. *Panchuk V. E.* 6m telescope spectroscopy: statistics of techniques and programmes // *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory*. 1998. Vol. 44. P. 65—70.
8. *Панчук В. Е., Ключкова В. Г., Галазутдинов Г. А., Рядченко В. П., Ченцов Е. Л.* Эшелле-спектрометр с матрицей ПЗС для 6-м телескопа // *Письма в Астрон. журн.* 1993. Т. 19, № 11. С. 1061—1069.
9. *Panchuk V. E., Naidenov I. D., Klochkova V. G., Ivanchik A. V., Ermakov S. V., Murzin V. A.* On the problem of high spectral resolution observations of faint objects // *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory*. 1997. Vol. 44. P. 127—131.
10. *Панчук В. Е., Ключкова В. Г., Юшкин М. В., Найденов И. Д.* Спектрограф высокого разрешения 6-метрового телескопа БТА // *Оптический журнал*. 2009. Т. 76, № 2. С. 42—55.
11. *Panchuk V. E., Chuntanov G. A., Naidenov I. D.* Main stellar spectrograph of the 6-meter telescope. Analysis, reconstruction, and operation // *Astrophysical Bulletin*. 2014. Vol. 69, N 3. P. 339—355.
12. *Монин Д. Н., Панчук В. Е.* Спектрограф умеренного разрешения фокуса Нэсмита 6-м телескопа БТА // *Письма в Астрон. журн.* 2002. Т. 28, № 10. С. 940—946.

13. Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Найденов И. Д. Поляриметрия и спектрополяриметрия звезд. Приборы и методы // Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв. 2005. Т. 58, № 1. С. 132—144.
14. Bowen I. S. The spectrographic equipment of the 200-inch hale telescope // Astrophysical J. 1952. Vol. 116, N 1. P. 1—7.
15. Найденов И. Д., Чунтонов Г. А. Анализатор круговой поляризации звездного магнитографа БТА // Сообщения САО. 1976. Вып. 16. С. 63—65.
16. Глаголевский Ю. В., Клочкова В. Г., Копылов И. М. Исследование магнитных полей химически пекулярных звезд разного возраста // Астрон. журн. 1987. Т. 64, № 2. С. 360—366.
17. Najdenov I. D., Panchuk V. E. Zeeman effect measuring devices in the spectrometers of the BTA Nasmyth foci // Bulletin of the Special Astrophysical Observatory. 1996. Vol. 41. P. 143—147.
18. Чунтонов Г. А. Измерения слабых магнитных полей звезд на БТА // Методы спектроскопии в современной астрофизике / Под ред. Л. И. Машонкина, М. Е. Сачкова. М.: Янус-К, 2007. С. 336—349.
19. Panchuk V. E., Klochkova V. G., Yushkin M. V., Yakopov M. V. Stellar spectroscopy in ground-based ultraviolet. I. Observational technique // Astrophysical Bulletin. 2009. Vol. 64, N 4. P. 392—400.
20. Klochkova V. G., Panchuk V. E., Ryadchenko V. P. An autocollimation echelle spectrometer for the 6-meter telescope // Soviet Astronomy Letters. 1991. Vol. 17, N 4. P. 274—277.
21. Панчук В. Е., Юшкин М. В., Найденов И. Д. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. XI. Повышение эффективности эшелле-спектрографов фокуса Нэсмита-2 // Препринт САО РАН. 2003. № 179. С. 1—20.
22. Naidenov I. D., Panchuk V. E., Yushkin M. V. Stokes polarimeter with an image slicer // Astrophysical Bulletin. 2007. Vol. 62, N 3. P. 296—299.
23. Gazhur E. B., Klochkova V. G., Panchuk V. E. Operation of the ZEBRA echelle spectrometer on the 6-meter telescope // Soviet Astronomy Letters. 1990. Vol. 16. P. 473—480.
24. Афанасьев В. Л., Моисеев А. В. Универсальный редуктор светосилы 6-м телескопа SCORPIO // Письма в Астрон. журн. 2005. Т. 31. С. 214—225.
25. Варшалович Д. А., Панчук В. Е., Иванчик А. В. Абсорбционные системы в спектрах квазаров HS 1946+76, S5 0014+81, S4 0636+68. Новые ограничения на космологическое изменение постоянной тонкой структуры // Письма в Астрон. журн. 1996. Т. 22, № 1. С. 8—16.
26. Борисов Н. В., Копылов И. М., Найденов И. Д. Комплекс поляризационных приборов для измерения магнитных полей на многоэлементных приемниках // Сообщения САО. 1989. Вып. 60. С. 102—120.
27. Иванов А. А., Панчук В. Е., Шергин В. С. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-м телескопа БТА. VIII. Локальный корректор положения звезды // Препринт САО. 2001. № 155. С. 1—19.
28. Патент РФ 2482525 С2. Механизм компенсатора наклонов волнового фронта / М. В. Якопов, Г. В. Якопов, В. Е. Панчук. 17.08.2011.
29. Патент РФ 2484507 С2. Автогидирующая оптико-механическая система оптоволоконного спектрографа / М. В. Якопов, Г. В. Якопов, В. Е. Панчук, М. В. Юшкин. 17.08.2011.

Сведения об авторах

- Владимир Евгеньевич Панчук** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Специальная астрофизическая обсерватория РАН, главный научный сотрудник; Университет ИТМО; базовая кафедра инфокоммуникационных технологий в астрофизике и астроприборостроении; E-mail: panchuk@ya.ru
- Валентина Георгиевна Клочкова** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Специальная астрофизическая обсерватория РАН, зав. лабораторией; E-mail: valenta@sao.ru
- Максим Владимирович Юшкин** — канд. физ.-мат. наук; Специальная астрофизическая обсерватория РАН, старший научный сотрудник; E-mail: maks@sao.ru
- Григорий Владимирович Якопов** — канд. физ.-мат. наук; Специальная астрофизическая обсерватория РАН, начальник комплекса БТА; E-mail: yakopov@gmail.com
- Юрий Борисович Верич** — Специальная астрофизическая обсерватория РАН, старший инженер АСУ БТА; E-mail: yu.verich@gmail.com

Ссылка для цитирования: Панчук В. Е., Клочкова В. Г., Юшкин М. В., Якопов Г. В., Верич Ю. Б. Спектрополяриметрия звезд на 6-метровом телескопе БТА. I. Спектрографы фокусов Нэсмита // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 12. С. 1018—1027.

STELLAR SPECTROPOLARIMETRY WITH THE 6-M TELESCOPE BTA. I. NASMYTH FOCI SPECTROGRAPHS

V. E. Panchuk^{1,2}, V. G. Klochkova¹, M. V. Yushkin¹,
G. V. Yakopov¹, Yu. B. Verich¹

¹Special Astrophysical Observatory of RAS, 369167, Nizhny Arhys, Russia
E-mail: panchuk@ya.ru

²ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

A brief description of design of spectrographs, located stationary on the Nasmyth focus platforms of the 6-meter telescope. The spectrographs with crossed dispersion NES and Lynx (where the crossed dispersion is provided by diffraction gratings) are considered, as well as the medium-resolution spectrograph (the crossed dispersion is obtained with a prism) and the classical diffraction spectrograph (MSS). These spectrographs can be relatively quickly prepared to observations as for the main scientific program and as a backup device. To measure circular and linear polarization in stellar spectra it is necessary to accumulate a large signal to ensure sufficient spectral resolution. The necessity of calibration to be performed to account for instrumental effects is noted.

Keywords: large telescope, spectrograph, polarization analyzer, CCD, Stokes parameters, spectra of stars

Data on authors

- | | | |
|-------------------------------|---|---|
| Vladimir E. Panchuk | — | Dr. Sci., Professor; Special Astrophysical Observatory of RAS; Chief Researcher; ITMO University, Department of Department of Infocommunication Technologies in Astrophysics and Astroinstrument Engineering; E-mail: panchuk@ya.ru |
| Valentina G. Klochkova | — | Dr. Sci., Professor; Special Astrophysical Observatory of RAS; Head of Laboratory; E-mail: valenta@sao.ru |
| Maxim V. Yushkin | — | PhD; Special Astrophysical Observatory of RAS; Senior Scientist; E-mail: maks@sao.ru |
| Grigory V. Yakopov | — | PhD; Special Astrophysical Observatory of RAS; Head of the BTA Technical Support Team; E-mail: yakopov@gmail.com |
| Yury B. Verich | — | Special Astrophysical Observatory of RAS; Senior Engineer; E-mail: yu.verich@gmail.com |

For citation: Panchuk V. E., Klochkova V. G., Yushkin M. V., Yakopov G. V., Verich Yu. B. Stellar spectropolarimetry with the 6-m telescope BTA. I. Nasmyth foci spectrographs // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 12. P. 1018—1027 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-12-1018-1027