ЭШЕЛЛЕ-СПЕКТРОГРАФ НЭС
Описание оборудования и методики наблюдений.
Научно–технический отчет САО N 266

Ответственный за метод – Клочкова В.Г.

Специальная Астрофизическая Обсерватория

Нижний Архыз

1998

Содержание

1 Статус метода и уровень его описания

Статус метода определен приказом N 98-О от 30 октября 1998 года, а именно: "Определить статус эшелле-спектрометра НЭС на 1999 г. как авторский метод, находящийся в опытной эксплуатации, с последующим переводом в методы общего пользования по завершению автоматизации комплекса..."

Статус авторского метода определен приказом N 82-О от 19 октября 1994 г. В частности: "...Постановка авторских методов в расписание на БТА осуществляется по согласованию с авторами или лабораторией, обеспечивающими метод. Сопровождение авторских методов и инструментов в наблюдениях обеспечивается в основном силами коллектива-разработчика..."

Перечень документации, сопровождающей метод, определен в приказе N 114-О от 28 ноября 1994 года, где указано, что описание оборудования и методики наблюдений включает следующие разделы:

- общее описание системы, принципы работы;
- конфигурация инструмента, включая оптические схемы;
- описание приемника с приведением основных характеристик;
- наблюдательная процедура;
- калибровки;
- программное обеспечение;
- архивизация данных;
- приложения, включающие характеристики фильтров, решеток и т.п.

Нижеследующие разделы построены по указанной схеме, с дополнением цели и обоснования проекта. В части действий ниже описываются только те процедуры, которые уже регламентированы соответствующими документами.

Более подробное описание характеристик прибора можно найти в научно–техническом отчете N 265 САО РАН (исполнители: Викульев Н.А., Витриченко Э.А., Ермаков С.В., Клочкова В.Г., Найденов И.Д., Панчук В.Е., Романенко В.П., Таволжанская Н.С., Юшкин М.В.).

Некоторая информация о проекте содержится также на странице лаборатории спектроскопии звезд www.sao.ru/ valenta/Lss.html

2 Цель проекта

Целью проекта является создание системы высокого спектрального разрешения, по основным оптико-механическим параметрам сравнимой с приборами, которыми оснащены сегодня крупнейшие телескопы мира.

3 Научно-техническое обоснование проекта

По мере распространения альтазимутальных систем наблюдается тенденция оснащения новых крупных телескопов стационарно установленными спектральными комплексами. Это снижает эксплуатационные расходы и создает возможности принципиально нового планирования режимов наблюдений на телескопе. Однако для метода спектроскопии высокого разрешения в реализации такого подхода существует ряд проблем.

Основная проблема связана с понижением информативности метода при увеличении диаметра главного зеркала. Действительно, число одновременно передаваемых элементов эшелле-спектра обратно пропорционально диаметру главного зеркала (т.е. при неизменном формате светоприемника число одновременно регистрируемых порядков обратно пропорционально диаметру главного зеркала). Светосила по потоку прямо пропорциональна диаметру главного зеркала (в случае наблюдений с высоким спектральным разрешением угловой диаметр изображения звезды превосходит угловую ширину щели). Спектральное разрешение обратно пропорционально диаметру главного зеркала (при фиксированных параметрах спектрографа). В итоге потенциальное качество спектрографа (или его информативность в единицу времени, определяемая как произведение числа одновременно передаваемых элементов спектра, светосилы по потоку и спектрального разрешения) - обратно пропорциональны диаметру главного зеркала телескопа. Подчеркнем, что при современном состоянии оптических технологий это соотношение начинает работать с диаметров зеркал, превышающих два метра.

Вначале рассмотрим задачу достижения требуемого спектрального разрешения. Спектральное разрешение прямо пропорционально диаметру коллимированного пучка d, тангенсу угла блеска дифракционной решетки, и обратно пропорционально диаметру главного зеркала телескопа D и угловой ширине щели s. В рамках данного проекта это означает использование коллимированного пучка диаметром более 200 мм, т.е. выход за технологические пределы по монолитным эшелле, т.е. применение мозаичной эшелле.

Способ эксплуатации мозаичной эшелле, наряду с решением задачи обеспечения механической жесткости конструкции НЭС, - определяют вопрос поддержания достигнутого спектрального разрешения в течение наблюдений.

Задача экономичной упаковки спектральных порядков также решается методами, отличными от методов, оптимальных для малых телескопов. Свыше тридцати лет хорошо известно, что сочетание призмы и эшелле обеспечивает наиболее экономичный формат спектра. Это справедливо в том случае, если речь идет об упаковке ВСЕГО формата в один кадр, поэтому теряет смысл в применении к большим телескопам. Кроме того, если механически перенести данное решение на большой телескоп, можно натолкнуться на ряд технологических и эксплуатационных ограничений. Во-первых, в случае БТА не обойтись без трех последовательно установленных призм. Общая длина оптического пути в стекле превышает метр, уровень требований к характеристикам стекла (бессвильность, беспузырность и т.д.) предельный, уровень френелевских потерь на шести поверхностях высок и в целом превышает потери на дифракционной решетке. Во-вторых, применение призм лишает нас возможности изменения формата кадра без изменения геометрии схемы (что необходимо в плане дальнейшего увеличения светосилы по потоку путем применения резателей изображения). Остальные доводы в пользу отказа от призм приведены в работе Панчука и др., 1999 а. Здесь только отметим, что на трех крупнейших эшелле-спектрографах мира: HIRES Keck (D=10 м, d=300 мм), НЭС БТА (D=6 м, d=240 мм) и UVES VLT (D=8 м, d=200 мм) – в качестве элемента скрещенной дисперсии используется дифракционная решетка.

Задача обеспечения механической жесткости конструкции спектрографа решена путем отказа от привязки разных элементов схемы к разным уровням несущей конструкции опоры оси "Z" БТА, т.е. путем отказа от вертикальной схемы ОЗСП. Перечислим дополнительные доводы в пользу такого решения:

- сохранена схема ОЗСП, не исчерпавшего, по нашему мнению, свои потенциальные возможности;
- все оптические элементы НЭС находятся в одном температурном слое (а в полости ОЗСП наблюдается вертикальный температурный градиент).

Равномерное распределение нагрузки по четырем опорным точкам обеспечено привязкой конструкции эшелле-спектрометра РЫСЬ к раме НЭС.

Второй крупной проблемой является сосуществование нового прибора с уже привычными. Известны периоды (см. Панчук, 1998), когда на БТА одновременно использовались три поколения светоприемников: фотографический метод регистрации спектров, счет фотонов на одномерных и двумерных изображениях спектров, и первые спектроскопические эксперименты с матрицами ПЗС. Следовательно, всегда необходимо время, в течение которого пользователи приборов корректируют (или сохраняют прежними) свои приоритеты. (Таким образом медленное разрешение организационных проблем порождает проблемы эксплуатационные и конструктивные). В случае НЭС проблема предрешена формулировкой и последовательной реализацией концепции (Клочкова и Панчук, 1991), согласно которой в фокусе Нэсмита должны (и могут) работать спектральные системы, обслуживаемые общей предщелевой частью. Такой подход позволяет затем как выполнять поочередную модернизацию приборов, так и реализовать принцип одновременной регистрации разных участков спектра разными приборами.

Итак, технологически определенная ниша, занимаемая системой высокого спектрального разрешения на большом телескопе, определяется следующим образом: "использование светлого (лунного) времени для исследования точечных и протяженных объектов путем регистрации участков спектров длиной 1000 – 2000 ÅÅ со спектральным разрешением 40000–60000 и величиной сигнал/шум, недоступной телескопам среднего диаметра за указанное время накопления сигнала". Очевидно, что под такое определение попадает широкий круг наблюдательных задач, в т.ч. и неизвестных сегодня, поэтому создаваемая система должна иметь некоторый ресурс развития.

4 Общее описание системы, принципы работы

Нэсмитовский Эшелле-Спектрограф (НЭС) является центральной частью спектрального комплекса, расположенного в фокусе Нэсмит-2 (Н2), и состоящего, помимо НЭС, из Основного звездного спектрографа (ОЗСП, Панчук, 1995) и эшелле-спектрометра РЫСЬ (Панчук и др., 1999 б). Все перечисленные спектральные приборы имеют общую предщелевую часть (Панчук и др., 1999 в), управляемую из аппаратной БТА (к. 211). Степень развития рабочих мест (ПЭВМ "N2" и "MSS") в к. 211 позволяет выполнять независимый сбор с двух светоприемников, установленных на различных спектральных приборах. В настоящее время в НЭС используется матрица ПЗС с числом элементов 1000 x 1000.

Принципом работы НЭС является принцип скрещенной дисперсии, т.е.

работа в высоких порядках решетки с большим углом блеска (эшелле), с пространственным разведением порядков диспергирующим элементом, плоскость дисперсии которого перпендикулярна плоскости основной дисперсии. Принцип скрещенной дисперсии в известной мере удовлетворяет требованию обеспечения высокого спектрального разрешения с одновременной регистрацией большого числа элементов разрешения в спектре на формате современного светоприемника. Высокое спектральное разрешение достигается сочетанием характеристик эшелле с фокусным расстоянием камеры, что при умеренных потерях на щели и определяет диаметр коллимированного пучка, и, следовательно, габариты прибора, расположенного в фокусе с низким относительным отверстием.

5 Схема инструмента

На рис. 1 приведены основные элементы предщелевой части спектрального комплекса (Панчук и др., 1999 в). Пучок с относительным отверстием 1:30.7 перехватывается зеркалом подсмотра поля. Когда это зеркало введено – на оптической оси "Z" находится также зеркало канала калибровки. Канал калибровки содержит три источника спектра – лампа с ториевым катодом и аргоновым наполнением, и две лампы непрерывного спектра, различающиеся по мощности. Маломощная лампа обеспечивает калибровочный спектр в красном и ИК–диапазонах, лампа большой мощности, снабженная выравнивающим фильтром, дает основной вклад в коротковолновую часть спектра. Все три источника освещают диафрагму фиксированных размеров, изображение которой строится на входной щели того или иного спектрографа. Когда зеркала подсмотра поля и канала калибровки выведены с оси "Z" – свет попадает на место, куда в зависимости от задачи может быть введено одно из трех предщелевых устройств (зеемановский анализатор, сканирующий эталон Фабри–Перо, абсорбционная йодная ячейка), краткое описание которых дано в работах (Найденов и Чунтонов, 1976, Глаголевский и др., 1975, Панчук и др., 1998) соответственно.

Затем свет попадает на один из оптических элементов узла светоделителей. Этот узел содержит поочередно вводимые в пучок два светоделителя, плоское зеркало и пустую диафрагму. При введенном плоском зеркале весь свет отражается на щелевую часть ОЗСП, при введенной пустой диафрагме весь свет попадает на щелевую часть, общую для эшелле-спектрографов РЫСЬ и НЭС. Светоделители служат для разделения излучения по спектральному диапазону. Когда синяя (красная) часть спектра попадает на

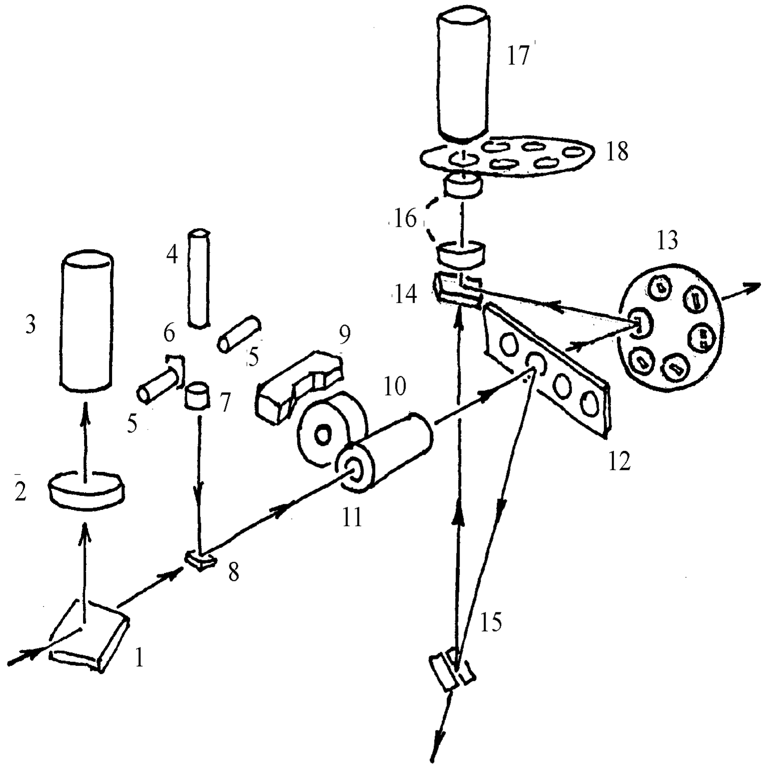

Рис. 1: Схема предщелевой части. Обозначения: 1 – плоское зеркало подсмотра поля, 2 – оптика подсмотра поля, 3 – телевизионный подсмотр поля, 4 – лампа с полым катодом, 5 – лампы непрерывного спектра, 6 – светофильтр, 7 – оптика канала калибровки, 8 – плоское зеркало канала калибровки, 9 – анализатор круговой поляризации, 10 – эталон Фабри-Перо, 11 – йодная ячейка, 12 – узел светоделителей, 13 – турель деккеров эшелле-спектрографов, 14 – зеркало подсмотра деккеров, 15 – щелевая часть ОЗСП, 16 – оптика подсмотра деккеров и щелевой части, 17 – телевизионный подсмотр щели и деккеров, 18 – светофильтры подсмотра.

щель ОЗСП – красная (синяя) его часть попадает на щель эшелле-спектрографов. В случае наблюдений на ОЗСП светоделители могут играть роль порядкоразделительных фильтров.

Для обеспечения подсмотра объекта на щелевой части – плоскости щелей наклонены к оптической оси. Свет, отраженный от щели ОЗСП, попадает на оптику подсмотра щели непосредственно, если же подсмотр работает со щелью эшелле–спектрографов, то вводится дополнительное зеркало, перехватывающее пучок от щели эшелле–спектрографов и перекрывающее канал подсмотра щели ОЗСП. Для настройки ориентации зеемановского анализатора предусмотрено переключение подсмотра щели на видеоконтрольное устройство, размещенное непосредственно вблизи предщелевой части. Так как оптические схемы эшелле–спектрографов РЫСЬ и НЭС различны, их общая щелевая часть выполнена в виде турели, в каждом из шести окон которой размещены щели различной ширины, высоты и ориентации. Размеры "одиночных" деккеров: 0.4x3.5, 0.6x3.5, 0.8x3.5, 1.0x3.5 мм. Ориентация первых трех деккеров предполагает их использование со спектрографом НЭС, деккер 1.0x3.5 предназначем для работы на эшелле-спектрографе РЫСЬ. В одном окне размещен деккер (два отверстия 0.6 x 3.0 мм), позволяющий работать с зеемановским анализатором на спектрографе НЭС. После турели может быть введено зеркало, поворачивающее пучок на ось коллиматора эшелле- спектрографа РЫСЬ. Если это зеркало выведено с оси "Z", то работают зеркала коллиматора спектрографа НЭС.

Оптическая схема НЭС приведена на рис. 2. После щелевой части свет перехватывается плоским зеркалом M 1, расположенным на продолжении оси "Z", затем через плоское зеркало M 2 попадает на внеосевую параболу коллиматора M 3. Относительная ориентация зеркал коллиматора такова, что основная рама спектрографа максимально приближена к несущей конструкции опоры балкона фокуса Н2. Образующийся при такой ориентации зеркал разворот изображения щели имеет знак, противоположный наклону изображения щели, возникающему из-за ориентации эшелле и практически компенсирует последний.

Эшелле (E) ориентирована в автоколлимации: $\alpha = \beta = \Theta_b$, $\gamma > 0$, (случай "c" по Шредеру и Хилларду, 1980). Параметры мозаичной эшелле: $\Theta_b = 63.5^o$, 37.5 штр/мм, размер заштрихованной части 600 x 300 мм^2. Уровень рассеянного света вдоль штриха эшелле – около 2 %.

В качестве узла скрещенной дисперсии (G) поочередно используются монолитные дифракционные решетки 600 штр/мм и 300 штр/мм, размер заштрихованной части 360 x 320 мм^2, работающие в первом порядке. Решетка

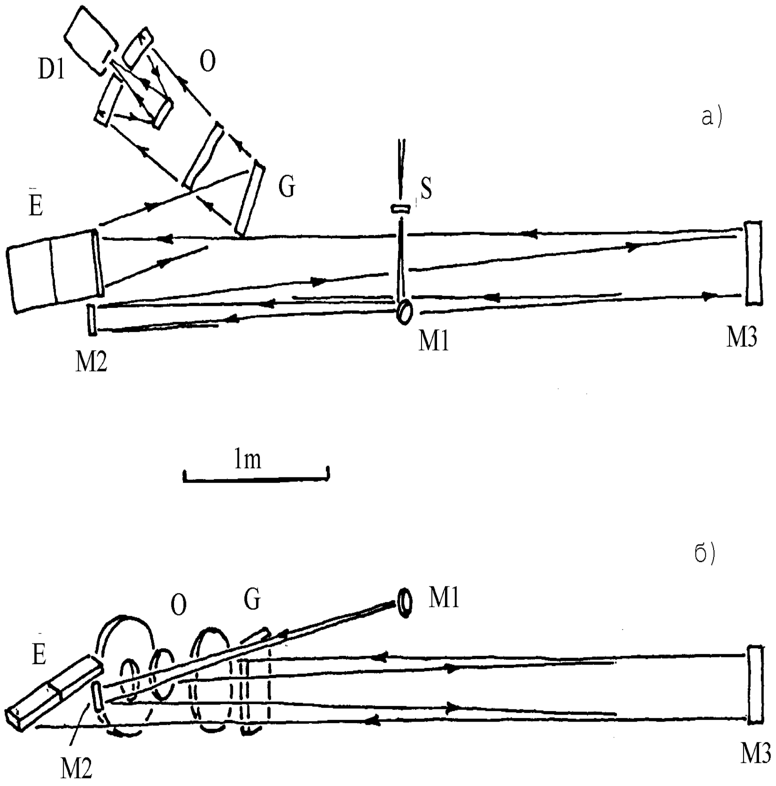

Рис. 2: а) Оптическая схема спектрографа (вид в плане на плоскость платформы фокуса Нэсмит-2). Обозначения: S – щелевая часть; M1, M2, M3 – зеркала коллиматора; E – эшелле; G – решетка скрещенной дисперсии; O – камера; D1 – светоприемник. б) Оптическая схема спектрографа (вид сбоку, в плане на плоскость, перпендикулярную оси "Z" телескопа).

600 штр/мм необходима для широкого разведения порядков при наблюдениях в синем и УФ-диапазонах в случае дооснащения спектрографа резателем изображений и для наблюдений с зеемановским анализатором в ультрафиолетовой области спектра (3100 – 3900 ÅÅ), а в качестве основного диспергирующего узла используется решетка 300 штр/мм (в этом случае при работе в УФ–диапазоне высота щели не должна превосходить 3-х угл. сек.). Объективом спектрографа (O) является камера, работающая по схеме Шмидт–Кассегрен–Може. Световой диаметр коррекционной пластины Шмидта составляет 305 мм, фокусное расстояние камеры 600 мм. Элементом, исправляющим кривизну поля, является мениск двойного хода, алюминированная тыльная поверхность которого является главным кассегреновским зеркалом. Такое решение позволяет избежать применения полеспрямляющей линзы поля, которую необходимо располагать вблизи плоскости светоприемника. Мениск и коррекционная пластина изготовлены из плавленого кварца. Размеры плоского поля камеры позволяют планировать использование матрицы с числом элементов до 4096 x 4096 включительно.

Щелевая часть, зеркала коллиматора, узел эшелле, узел решетки скрещенной дисперсии, объектив и узел светоприемника размещены на сварной раме, которая в четырех точках закрепляется на пилонах опоры оси "Z" БТА. Так как распределение массы спектрографа НЭС на эти четыре точки неравномерное, к раме спектрографа привязана несущая конструкция эшелле спектрографа РЫСЬ, это сделало указанную нагрузку практически равномерной. Увеличение веса оборудования, размещенного в фокусе Н2, частично скомпенсировано за счет демонтажа устаревших механизмов (например, гидроподъемника с кабиной наблюдателя для визуального подсмотра через общий гид телескопа). Рама спектрографа жестко связана с рамой предщелевой части фокуса Н2. Узел эшелле и узел скрещенной дисперсии снабжены приводами, позволяющими изменять углы падения и дифракции на диспергирующих элементах. Фокусировка камеры осуществляется перемещением вторичного зеркала, соответствующий механизм перемещения также снабжен электромеханическим приводом. Предусмотрено изменение наклона плоскости светоприемника к фокальной поверхности. Все элементы спектрографа закрыты общим светозащитным кожухом, в качестве дополнительной светозащиты используется реконструированный павильон балкона фокуса Н2. Результаты испытания позиционных характеристик спектрографа (Клочкова и др., 1999) подтвердили правильность выбора механической конструкции.

6 Светоприемник

В настоящее время НЭС оснащен матрицей ПЗС IDS017A 1040 x 1160 элементов (S1000). Размеры элемента составляют 0.016 x 0.016 мм, апертура 0.016 x 0.008 мм. Размер фоточувствительной области составляет 16.6 x 18.6 мм. Шум считывания 7 е-/элемент. Результатами измерения спектральной чувствительности и квантовой эффективности светоприемника не располагаем.

Для реализации потенциальной позиционной точности НЭС требуется изменение режима эксплуатации данного светоприемника с последующей его заменой на более стабильный (Клочкова и др., 1999).

7 Наблюдения

Как при подготовке к наблюдениям, так и в процессе наблюдений следует иметь ввиду, что взаимодействие астронома-наблюдателя с дежурным инженером-оператором АСУ СЭК БТА определяется "Должностной инструкцией инженеру-оператору АСУ СЭК БТА" от 30 января 1996 г.

Взаимодействие астронома-наблюдателя с астрономом, ответственным за метод, определяется приказом N 82-О от 19 октября 1994 г. и "Положением об ответственном астрономе за методику наблюдений на БТА", утвержденном 29.03.89. Подготовка к наблюдениям на НЭС включает следующие основные процедуры: подготовка светоприемника, фокусировка камеры, юстировка мозаичной эшелле, выбор рабочего диапазона, подготовка предщелевых устройств.

При подготовке к наблюдениям и в процессе наблюдений следует иметь ввиду, что при испытании НЭС наблюдались нестабильности, которые мы связываем с нестабильностями собственно модуля светоприемника (Клочкова и др., 1999). Как средство снижения влияния этих нестабильностей рекомендуем заправлять криостат светоприемника не менее чем за 4–5 часов до начала наблюдений, а в процессе наблюдений не забывать регистрировать спектр сравнения. Наблюдения звезд-стандартов лучевых скоростей на приборе, размещенном в фокусе Нэсмита БТА, мало чем поможет из-за эффекта переменного заполнения апертуры спектрографа, что, повидимому, характерно для монтировки Серрюрера (Панчук и др., 1999 б).

Фокусировка камеры заключается в перемещении вторичного кассегреновского зеркала камеры и в изменении наклона плоскости светоприемника (если последняя процедура необходима). Объективный контроль каче-

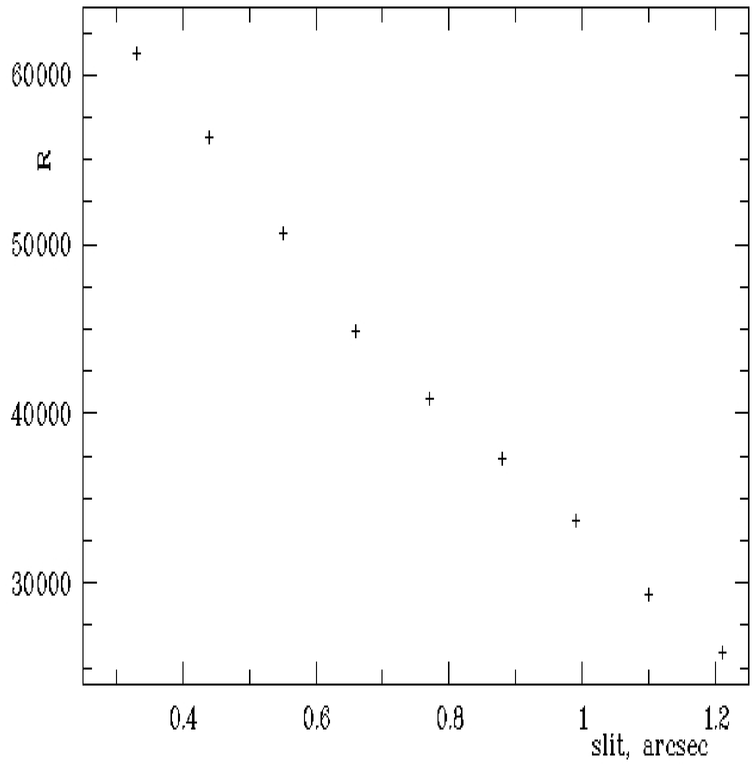

Рис. 3: Результат эмпирического определения спектрального разрешения R в функции ширины щели

ства фокусировки заключается в измерении полуширин гауссиан, которыми аппроксимируются линии в различных частях эшелле-изображения. После фокусировки следует установить ширину щели, вычисленную по гауссовой ширине линии. Для оценки спектрального разрешения можно использовать данные рис. 3.

Юстировка мозаичной эшелле (если она требуется), выполняется путем перемещений верхней (ближней к коллиматору) половины эшелле. Объективный контроль параллельности рабочих поверхностей и параллельности штрихов обеих частей мозаики выполняется по двум микрометрическим индикаторам, которыми снабжена верхняя часть мозаики. Предварительно на входе спектрографа устанавливается квадратная диафрагма, изображение которой в плоскости светоприемника не превосходит размеров одного светочувствительного элемента (пикселя).

bf Выбор рабочего спектрального диапазона устанавливается при помощи приводов угла эшелле и угла решетки скрещенной дисперсии. В качестве ориентира рекомендуем использовать данные Табл. 1 Приложения, где приведены измеренные и рассчитанные параметры порядков эшелле–кадра, а также расстояния h между осевыми линиями соседних порядков, измеренные по нескольким эшелле–кадрам для случая работы с решеткой скрещенной дисперсии 300 штр/мм. (Так как в дальнейшем мы планируем использовать матрицу с другим числом элементов и с другой величиной пикселя, размеры и обратная линейная дисперсия даны в мм и Å/мм соответственно. По этой же причине оценки спектрального разрешения даны ниже с точностью до ширины пикселя). Широкощельность схемы равна отношению фокусных расстояний коллиматора и камеры f/F = 12, т.к. геометрический фактор увеличения эшелле в случае "c" равен 1. Трехпиксельное спектральное разрешение равно 830400/p, где p – ширина пикселя в микронах. Если вы желаете работать в УФ-диапазоне, то после его установки убедитесь, что наклон плоскости светоприемника выбран правильно.

Работа в УФ-диапазоне может потребовать замены решетки скрещенной дисперсии. В Табл. 2 Приложения даны результаты измерения расстояний h между осевыми линиями соседних порядков, измеренные для случая работы с решеткой скрещенной дисперсии 600 штр/мм. Испытания камеры подтвердили ее работоспособность вплоть до границы прозрачности атмосферы 300 нм.

Подготовка предщелевых устройств состоит в установке разворота анализатора круговой поляризации или в 10–минутном прогреве йодной ячейки (если эти устройства предполагается использовать). Следует также сделать контрольные экспозиции необходимых калибровок и убедиться, что уровень сигнала соответствует ранее известному.

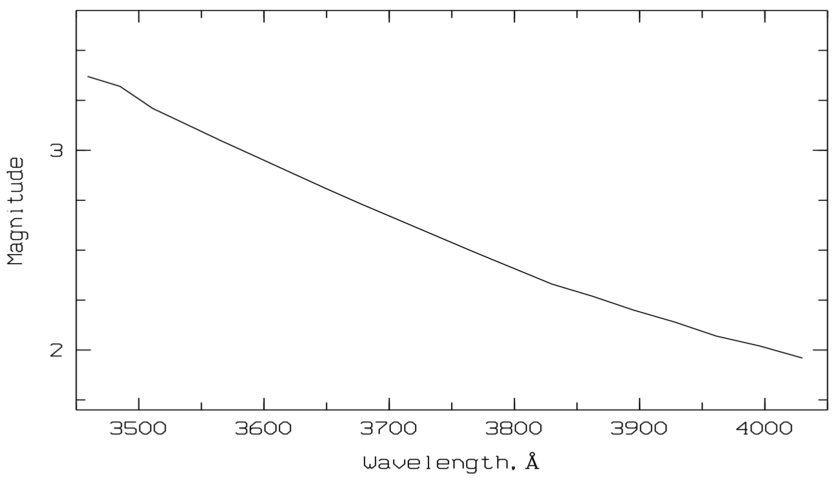

Рис. 4: Результаты измерений поглощения (в звездных величинах) в УФ–диапазоне в анализаторе круговой поляризации

Работа с зеемановским анализатором в УФ-диапазоне представляется нам целесообразной для длин волн не короче 340 нм. На рис. 4 приведены оценки потерь света в анализаторе (в звездных величинах), сделанные по измерениям спектра калибровки в УФ-диапазоне.

В процессе наблюдений астроном пользуется всеми функциями пульта управления спектральным комплексом Н2, исключая клавиши "Затвор" и "СД", имеющие отношение только к ОЗСП.

Для иллюстрации на рис. 5–6 приведены фрагменты спектров, зарегистрированных на НЭС в процессе опытной эксплуатации.

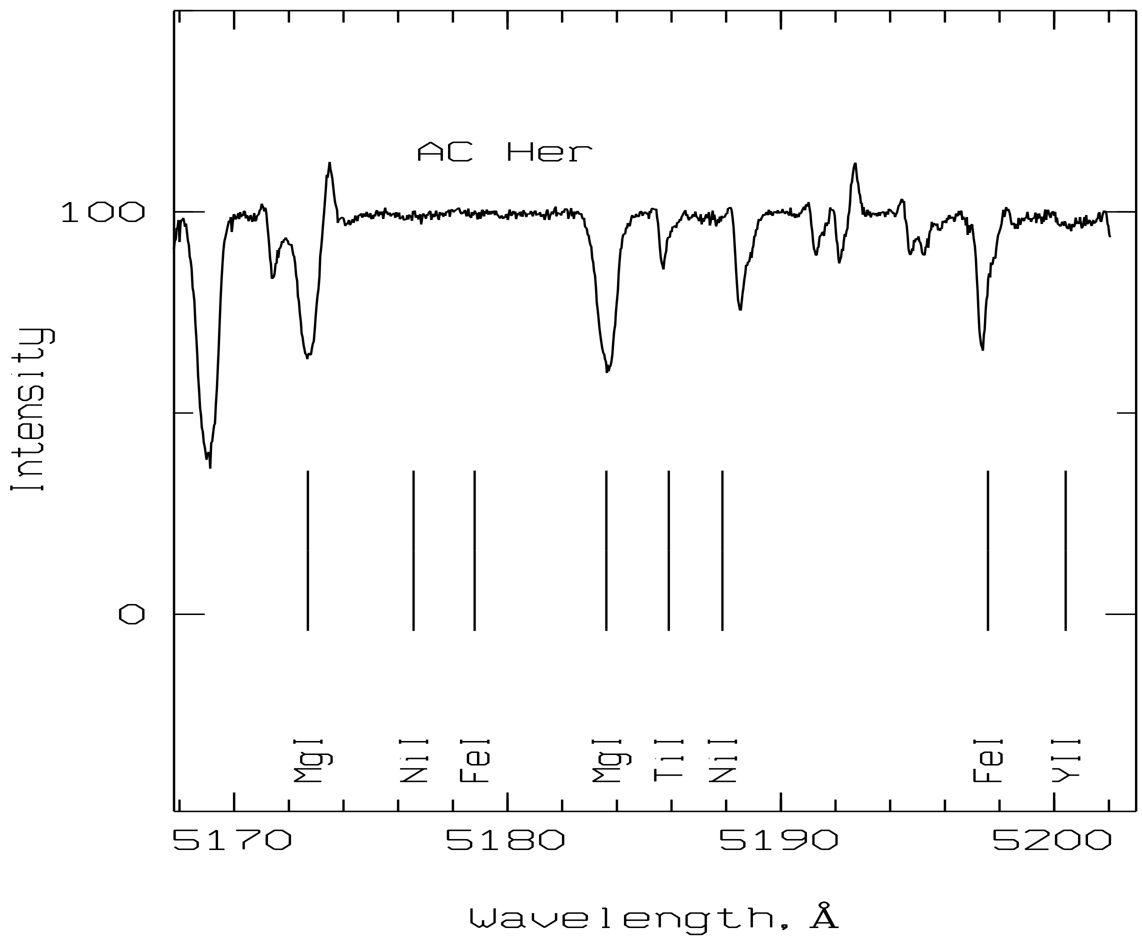

Рис. 5: Фрагмент одного порядка эшелле–спектра пульсирующей переменной AC Her

На рис. 7 приведена расчетная кривая проницающей способности, нор-

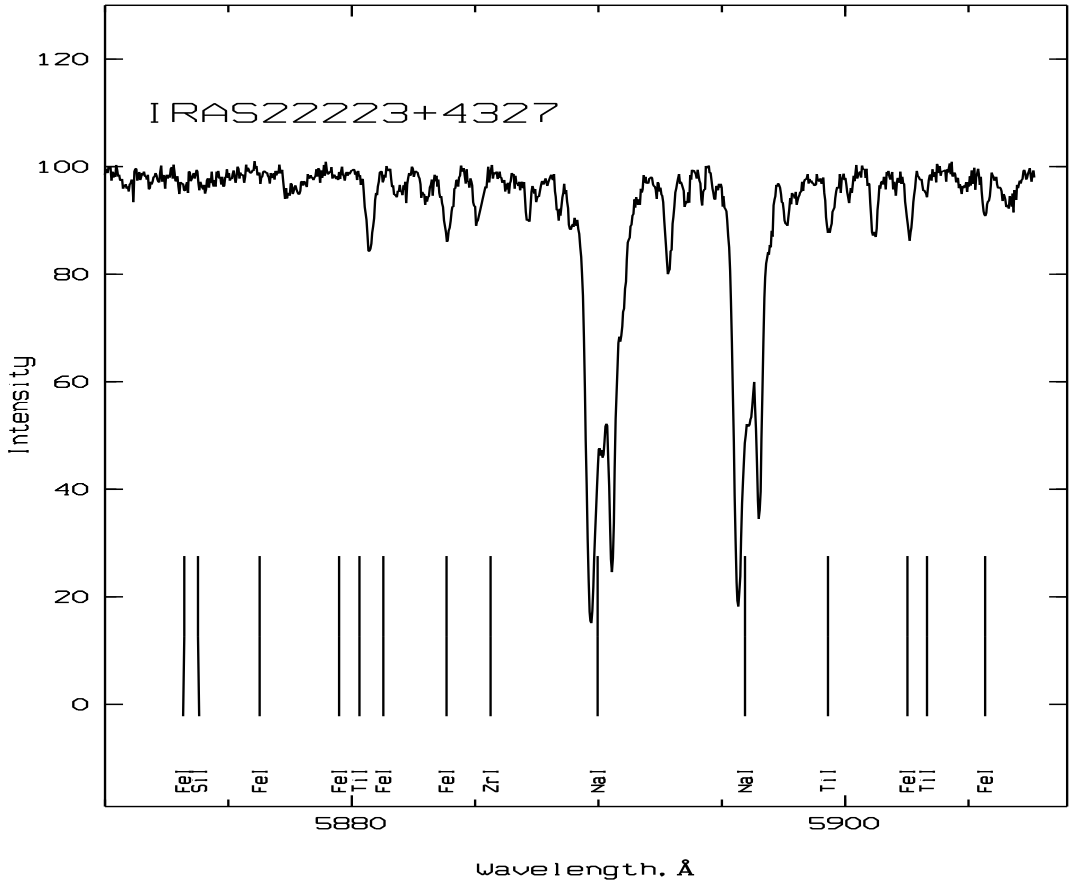

Рис. 6: Фрагмент одного порядка эшелле-спектра пекулярного сверхгиганта, отождествляемого с ИК-источником IRAS 22223+4327, V=9.7 mag

мированная по наблюдениям звезды V = 9.6 mag. Условия наблюдений, соответствующие рис. 7: качество изображений 1.5 угл. сек., ширина щели 1.0 угл. сек. продолжительность экспозиции 1 час.

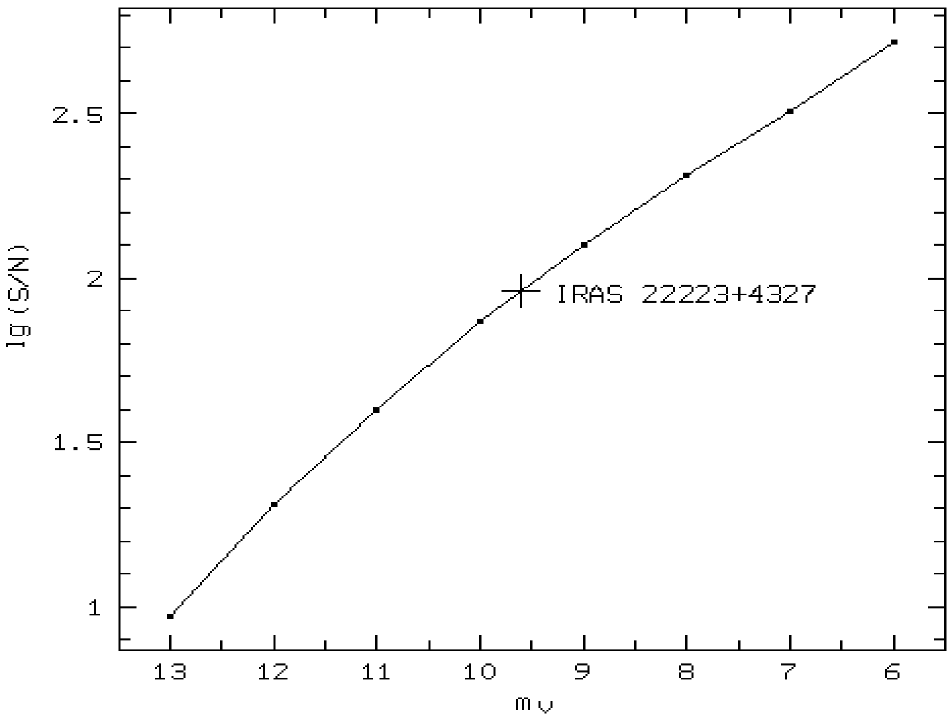

Рис. 7: Результат оценки проницающей способности НЭС. Экспозиция 1 час, изображения 1.5 угл. сек., ширина щели 1 угл.сек, длина волны 575 нм

Для длин волн, соответствующих бальмеровскому скачку и линии H_α, хроматическая рефракция на зенитном расстоянии 45 градусов составляет 2 угл. сек., что в фокусе Нэсмита соответствует двухмиллиметровой вытянутости диспергированного изображения звезды. Напомним, что ширина рабочей щели НЭС не превосходит 1 мм. Следовательно, гидируя по "серому" изображению звезды на ТВ-подсмотре, вы можете работать в режиме, неоптимальном для регистрации данного спектрального интервала. Ситуация смягчается тем, что прибор высокого спектрального разрешения на крупном телескопе никогда не регистрирует одновременно весь указанный диапазон. Поэтому для удержания нужной части диспергированного изображения звезды на щели канал телевизионного подсмотра дооснащается сейчас турелью светофильтров.

Точность определения лучевых скоростей, оцененная путем измерения положений отдельных линий в спектрах стандартов, равна 60–20 м/сек (Клочкова и др., 1999). Систематические различия определений лучевой скорости по линиям, расположенным в разных частях эшелле-кадра, отсутствуют.

8 Программное обеспечение

Поставленная вместе со светоприемником система сбора состоит из блока управления, линии связи, платы интерфейса ПЭВМ, собственно ПЭВМ и программ накопления и визуализации изображений. Время считывания кадра составляет 96 сек., время очистки кадра – 14 сек. В настоящее время используется система сбора, представляющая собой специальный контекст NICE (Князев, 1994) системы MIDAS ESO (1995) в среде операционной системы OS Linux. Система сбора NICE позволяет управлять режимами работы светоприемника, а также обеспечивает выполнение ряда вспомогательных процедур: визуализацию накопленных ранее изображений, оценку уровня сигнала, статистические оценки накопленного сигнала, построение разрезов изображения. Начинающим наблюдателям необходимо детально изучить возможности и набор команд данной системы сбора (Князев, 1994).

9 Архивизация данных

В процессе наблюдений эшелле-фреймы, представляющие собой FITS–файлы, буферизуются на сервере Аппаратной БТА (tb.sao.ru) в каталоге tb:/u/data/SAO_Archives/NICE.

На данный момент статус официального архива САО не определен, поскольку отсутствует служебная документация, определяющая процедуру архивизации, оформление обращений пользователей к архиву, порядок и приоритеты доступа к архивам, авторские права наблюдателей и заявителей.

10 Программа развития НЭС

Ввод спектрографа НЭС в 1998 г. в опытную эксплуатацию, исследование его параметров и выполнение первых спектральных наблюдений подтвердили его высокие эксплуатационные характеристики, соответствующие техническим требованиям и планируемым научным задачам.

Для повышения эффективности НЭС, помимо выполнения ряда оптико–механических и исследовательских работ (создание турели для светофильтров подсмотра, нанесение покрытий на зеркала коллиматора, совершенствование устройств предщелевой части, исследование всех вариантов работы спектрографа, изготовление спектрального атласа калибровочной лампы), необходимо выполнение следующей программы развития:

- оснащение спектрографа матрицей ПЗС с числом элементов, по крайней мере, 2000 x 2000 , что позволит реализовать высокое качество спектра в поле диаметром 40 мм, обеспечиваемом оптикой спектрографа
- автоматизация функций спектрографа, что сделает прибор общедоступным и позволит в перспективе перейти к дистанционным наблюдениям
- обеспечение режима непрерывной дозаправки азотом криостата матрицы ПЗС, что позволит поддерживать потенциально высокую точность позиционных измерений спектральных данных, получаемых со спектрографом НЭС
- создание официального архива спектральных данных, доступного пользователям и сопровождаемого необходимыми документами, гарантирующими авторские права.

Список литературы

Глаголевский Ю.В., Рылов В.С., Щеглов П.В., Чунтонов Г.А., 1975, в сб. Новая техника в астрономии, вып. 5, с. 7.

Клочкова В.Г., Панчук В.Е., 1991, Астрофиз. исслед. (Известия САО), т. 33, с. 3.

Клочкова В.Г., Ермаков С.В., Панчук В.Е., Таволжанская Н.С., Юшкин М.В. 1999, Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. II. Позиционные и фотометрические характеристики эшелле-спектрографа с большим диаметром коллимированного пучка. Препринт САО, N 137.

Князев А.Ю., Шергин В.С. OS Linux и система обработки астрономических данных MIDAS в Linux. 1994. Отчет САО РАН, N 226, с. 1.

MIDAS Users Guide. Vol. A, B. IPG ESO 95NOV.

Найденов И.Д., Чунтонов Г.А., 1976, Сообщ. САО, вып. 16, с. 63.

Панчук В.Е., 1995, - Основной звездный спектрограф, камера Шмидта 1:2.5 с матрицей ПЗС. Оперативная инструкция. Научно- технический отчет САО N 245.

Панчук В.Е., 1998, (Panchuk V.E.) Bull. Spec. Astrophys. Observ., v. 44, p. 65.

Панчук и др., 1998, (Panchuk V.E., Yermakov S.V., Bondarenko Yu.N.) Bull. Spec. Astrophys. Observ., v. 44, p. 132.

Панчук В.Е., Клочкова В.Г., Найденов И.Д., 1999 а, Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. I. Эшелле-спектрограф с большим диаметром коллимированного пучка. Препринт САО, N 135.

Панчук В.Е., Клочкова В.Г., Найденов И.Д., Витриченко Э.А., Викульев Н.А., Романенко В.П., 1999 б. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. IV. Светосильный эшелле-спектрограф РЫСЬ. Препринт САО, N. 139

Панчук В.Е., Найденов И.Д., Викульев Н.А., 1999 в. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6–метрового телескопа БТА. III. Предщелевая часть. Препринт САО, N. 138

S1000. Система регистрации астрономических изображений на матрице ПЗС 1040x1160. Нижний Архыз, 1995, 24с.

Шредер и Хиллард (Schroeder D.J., Hilliard R.L.), 1980, Applied Optics, v.,19, p. 2833.

A Приложение

A.1 Параметры эшелле–кадра

Таблица 1: Измеренные (5170-6059 ÅÅ) и рассчитанные параметры спектральных порядков. N – номер порядка, λ_c – центральная длина волны, D – обратная линейная дисперсия, FSR – свободный спектральный интервал, h_i (мм) – расстояние между осевыми линиями соседних порядков в случае применения решетки скрещенной дисперсии 300 штр/мм, индексы i относятся к разным эшелле-кадрам. Для каждого N указано расстояние до порядка N+1

N	λ_c (Å)	D(Å/мм)	FSR(Å)	FSR(мм)	h_1	h_2	h_3	h_4
144	3219	1.294	22.3	17.3	0.42			
143	3241	1.303	22.7	17.4	0.43			
142	3264	1.313	23.0	17.5	0.44			
141	3287	1.322	23.2	17.5	0.45			
140	3311	1.331	23.6	17.7	0.46			
139	3334	1.341	24.0	17.9	0.47			
138	3358	1.351	24.3	18.0	0.47			
137	3383	1.361	24.7	18.1	0.48			
136	3408	1.371	25.0	18.2	0.49			
135	3433	1.381	25.4	18.4	0.50			
134	3459	1.391	25.8	18.5	0.51			
133	3485	1.401	26.2	18.7	0.52			
132	3511	1.412	26.6	18.8	0.53			
131	3538	1.423	27.0	19.0	0.53			
130	3565	1.434	27.4	19.1	0.54			
129	3593	1.445	27.8	19.2	0.55			
128	3621	1.456	28.3	19.4	0.56			
127	3649	1.468	28.7	19.6	0.57			
126	3678	1.479	29.2	19.7	0.58			
125	3708	1.491	29.7	19.9	0.58			
124	3738	1.503	30.1	20.0	0.59			
123	3768	1.515	30.6	20.2	0.60			

N	λ_c (Å)	D(Å/мм)	FSR(Å)	FSR(мм)	h_1	h_2	h_3	h_4
122	3799	1.528	31.1	20.4	0.61			
121	3830	1.540	31.6	20.5	0.62			
120	3862	1.553	32.2	20.7	0.62			
119	3895	1.566	32.7	20.9	0.63			
118	3928	1.580	33.3	21.0	0.64			
117	3961	1.593	33.8	21.2	0.65	0.66		
116	3996	1.607	34.4	21.4	0.66	0.66		
115	4030	1.621	35.0	21.6	0.67	0.68		
114	4066	1.635	35.7	21.8		0.69		
113	4102	1.650	36.3	22.0		0.70		
112	4138	1.664	36.9	22.2		0.71		
111	4176	1.679	37.6	22.4		0.72		
110	4213	1.694	38.3	22.6		0.74		
109	4252	1.710	39.0	22.8		0.75		
108	4291	1.726	39.7	23.0		0.76		
107	4332	1.742	40.5	23.2		0.77		
106	4372	1.758	41.2	23.4		0.78		
105	4414	1.775	42.0	23.7		0.79		
104	4457	1.792	42.8	23.9		0.80		
103	4500	1.810	43.7	24.1		0.82		
102	4544	1.827	44.5	24.3		0.83		
101	4589	1.845	45.4	24.6		0.84		
100	4635	1.864	46.3	24.8		0.85	0.90	
99	4682	1.883	47.3	25.1		0.86	0.91	
98	4729	1.902	48.2	25.3		0.87	0.93	
97	4778	1.922	49.3	25.6		0.89	0.95	
96	4828	1.942	50.3	25.9		0.90	0.97	
95	4879	1.962	51.3	26.1			0.99	
94	4931	1.983	52.4	26.4			1.01	
93	4984	2.004	53.6	26.7			1.03	
92	5038	2.026	54.8	27.0			1.05	
91	5093	2.048	56.0	27.3			1.07	
90	5150	2.071	57.2	27.6			1.09	

N	λ_c (Å)	D(Å/мм)	FSR(Å)	FSR(мм)	h_1	h_2	h_3	h_4
89	5208	2.094	58.5	27.9			1.11	
88	5267	2.112	59.9	28.4			1.13	1.15
87	5327	2.137	61.2	28.6			1.15	1.18
86	5389	2.161	62.7	29.0			1.17	1.22
85	5453	2.185	64.2	29.4			1.18	1.25
84	5518	2.215	65.7	29.7				1.28
83	5584	2.240	67.3	30.0				1.31
82	5652	2.264	68.9	30.4				1.34
81	5722	2.294	70.6	30.8				1.38
80	5793	2.324	72.4	31.2				1.41
79	5867	2.354	74.3	31.6				1.44
78	5942	2.373	76.2	32.1				1.47
77	6019	2.409	78.2	32.5				1.50
76	6098	2.445	80.2	32.8				1.54
75	6180	2.485	82.4	33.2				
74	6263	2.518	84.6	33.6				
73	6349	2.553	87.0	34.1				
72	6437	2.588	89.4	34.5				
71	6528	2.625	91.9	35.0				
70	6621	2.662	94.6	35.5				
69	6717	2.701	97.3	36.0				
68	6816	2.741	100.2	36.6				
67	6918	2.782	103.2	37.1				
66	7022	2.824	106.4	37.7				
65	7130	2.868	109.7	38.2				
64	7242	2.912	113.2	38.8				
63	7357	2.959	116.8	39.5				
62	7476	3.006	120.6	40.1				
61	7598	3.056	124.6	40.8				
60	7725	3.107	128.7	41.4				
59	7856	3.159	133.2	42.1				
58	7991	3.213	137.8	42.9				
57	8131	3.270	142.6	43.6				

N	λ_c (Å)	D(Å/мм)	FSR(Å)	FSR(мм)	h_1	h_2	h_3	h_4
56	8276	3.329	147.8	44.4				
55	8427	3.389	153.2	45.2				
54	8583	3.452	158.9	46.0				
53	8745	3.517	165.0	46.9				
52	8913	3.585	171.4	47.8				
51	9088	3.655	178.2	48.7				
50	9269	3.728	185.4	49.7				

Таблица 2: Измеренные расстояния h_i (мм) между осевыми линиями соседних порядков в случае применения решетки скрещенной дисперсии 600 штр/мм. N – номер порядка. Для каждого N указано расстояние до порядка N+1

N	h_i (мм)
145	0.84
144	0.86
143	0.87
142	0.88
141	0.90
140	0.92
139	0.93
138	0.94
137	0.96
136	0.98
135	0.99
134	1.00
133	1.02
132	1.04
131	1.05
130	1.06
129	1.08
128	1.09
127	1.11
126	1.12
125	1.14
124	1.16
123	1.18
122	1.20
121	1.22
120	1.24
119	1.25
118	1.27
117	1.29
116	1.31
115	1.33

А.2 К циркулярному письму в КТ6Т

Эшелле-спектрограф
с коллимированным пучком большого диаметра (NES)

Ответственный за метод - В.Г.Клочкова (valenta@sao.ru)

Спектрограф предназначен для спектроскопических исследований ярких ($V \leq 11$) объектов в диапазоне $3100-11000$ ÅÅ со спектральным разрешением R=40000-60000. Стационарно размещен на платформе фокуса Нэсмит-2 (F:30.7). Трехзеркальный коллиматор F=7200 мм обеспечивает диаметр коллимированного пучка 240-260 мм. В качестве узла основной дисперсии используется мозаика из двух эшелле R2, 37.5 штрихов/мм, размер заштрихованной области каждой 300 x 300 мм, общая длина мозаики 600 мм. В качестве узла скрещенной дисперсии используется монолитная дифракционная решетка, работающая в первом порядке, размер заштрихованной части 320 x 360 мм^2. Камера спектрографа (F=600 мм) выполнена по схеме Шмидт–Кассегрен–Може, световой диаметр кварцевой коррекционной пластины 305 мм. Главным кассегреновским зеркалом камеры является кварцевый мениск двойного хода, алюминированный с тыльной стороны, такое решение позволяет обходиться без полеспрямляющей линзы. Диаметр плоского поля камеры 40 мм, но в настоящее время спектрограф используется с матрицей ПЗС 1160 x 1040 элементов, размер элемента 16 x 16 мк. До оснащения камеры широкоформатной матрицей ПЗС и завершения работ по автоматизации спектрографа - статус прибора на БТА – опытная эксплуатация с выполнением ряда научных программ. Образцы спектров приведены на странице www.sao.ru/ valenta/Lss.html