

МНОГОЩЕЛЕВОЙ ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОГРАФ БТА

I. АППАРАТУРА, МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

*В. Л. Афанасьев, С. Н. Додонов, М. Д. Караченцев, В. М. Кузнецов,
А. Н. Свиридов, В. Ю. Теребиж, Ю. Д. Тропихин*

Описана реализованная на БТА методика многощелевой полевой спектроскопии. Сравнивается эффективность применения на БТА предлагаемой методики и методики бесщелевой спектроскопии. Приводится краткое описание аппаратуры и оптическая схема созданного варианта полевого многощелевого спектрографа БТА на базе фокального редуктора обсерватории Haute Provence. Расчетная предельно достижимая звездная величина $\sim 23^m$. Рабочее поле 18'5. Число одновременно исследуемых объектов 400—500.

Method of multislit field spectroscopy realized with the 6-meter telescope is described. Multislit and slitless spectroscopy efficiencies used with the BTA are compared. Short description for the equipment and optical scheme of the multislit field spectrograph developed on the basis of the focal reducer of the Haute Provence Observatory are given.

Limiting magnitude is near 23^m in *B*-system; observing field is 18'5: the number of objects observed at the same time is near 400—500.

Мощным методом поиска и классификации новых объектов являются систематические спектральные обзоры площадок неба, проводимые с низкой дисперсией. Широкоугольный телескоп с объективной призмой дает возможность одновременно получать спектры всех объектов, видимых в поле зрения до данной звездной величины. Стремление увеличить предельную звездную величину таких обзоров привело к применению комбинации призмы и решетки («Гризмы»), устанавливаемой перед фокальной плоскостью большого телескопа. В пионерских работах Хога [1] этим методом были получены спектры объектов до 21—21.5 зв. величины.

В настоящее время на многих крупных телескопах проводятся спектральные обзоры избранных площадок неба методом бесщелевой спектроскопии. Следует, однако, отметить, что увеличение диаметра телескопа при бесщелевой спектроскопии в отличие от прямых снимков не приводит к существенному увеличению предельной звездной величины. Предельная звездная величина, обнаруживаемая бесщелевым спектрографом, определяется не только яркостью фона неба и размером кружка рассеяния, но и числом разрешаемых в спектре элементов. Например, применение на БТА бесщелевого спектрографа, состоящего из комбинации решетки и призмы, устанавливаемой перед фокальной плоскостью телескопа, практически при изображениях $1''$ — $1.5''$ не дает выигрыша в предельной звездной величине, которая может быть получена при таких же условиях на 3—4-метровом телескопе. Учитывая, что поле БТА мало по сравнению с полем зрения 3—4-метровых телескопов, мы приходим к выводу, что применение бесщелевого спектрографа на БТА малоэффективно.

Способ увеличения предельной звездной величины при одновременной спектроскопии объектов поля на больших телескопах был предложен Димитровым и Бэкером [2]. Суть метода изложена в книге указанных авторов с исключительной ясностью: «...бесщелевые спектрографы, использующие полевую линзу и положительный коллиматор, могут быть приспособлены к длительным экспозициям путем заслонения большей части света от неба при помощи диафрагмы, расположенной в фокальной плоскости. Если данному участку звездного неба придается важное значение, то можно изготовить тонкую металли-

ческую маску по непосредственной фотографии участка путем прокалывания дырочек около 0.1 мм диаметром для каждой нужной звезды. После правильной ориентировки маски в фокальной плоскости инструмента большая часть света, достигающего пластинки, будет светом звезд, но не небесного фона. Таким путем можно давать долгие экспозиции без серьезного вуалирования пластинки. Пока еще, по-видимому, никто не применял этого метода. Тот, кто решит испытать его, должен заранее иметь в виду необходимость хорошей регулировки и тщательного гидирования».

По-видимому, впервые подобная схема наблюдений была реализована на малом телескопе (106-см рефлектор обсерватории Хоер-Лист) Гейером и др. [3].

Применяемый в [3] полевой спектрограф представляет собой обычную укорачивающую фокус систему с «Гризмой» в параллельном пучке и маской, установленной в фокальной плоскости телескопа. Применение маски, по данным авторов [3], позволило увеличить предельную звездную величину, по сравнению с бесщелевым спектрографом, на 3—4 зв. величины.

Очевидны преимущества многощелевого полевого спектрографа (Multy Slit Field Spectrograph — далее MSFS): существенное увеличение предельной звездной величины, повышение качества спектров (по сравнению с бесщелевым), расширение динамического диапазона при использовании щелей разного размера (обратно пропорционально яркости объектов), независимость предельной звездной величины от применяемой дисперсии, возможность учета наложения спектров. Реально достижимая звездная величина будет определяться эффективным фокусом телескопа и размером щелей в маске.

Трудности создания MSFS. При создании полевого многощелевого спектрографа возникает ряд трудноразрешимых аппаратурных и методических проблем.

Изготовление маски. Изготовление маски (системы щелей) для поля БТА, снятого, например, в высоких галактических широтах, требует изготовления на металлической или алюминированной пластинке 400—600 щелей, совпадающих с положением объектов в поле с точностью не хуже 0.5 (0.06 мм) и ориентированных одинаковым образом.

Оптическая система. Оптическая система MSFS, построенная по обычной схеме укорачивания фокуса, состоит из линзовых элементов — линзы поля и коллиматора, обладающих заметным хроматизмом. Ахроматизация линзовой системы для элементов с большими фокусными расстояниями возможна лишь в небольшом диапазоне длин волн и ограничена вторичным спектром применяемой линзовой оптики. Для получения спектров необходимого качества в широком диапазоне длин волн требуется применение элементов с малым вторичным спектром.

Юстировка маски и гидирование. Успех применения реальной схемы MSFS в первичном фокусе БТА определяется точностью установки и гидирования во время экспозиции, которая может достигать 7—8 ч. Необходимая при этом точность определяется размерами щелей, и для достижения предельных звездных величин она должна быть не хуже 0.5.

Оптико-механическая схема. Реальная схема MSFS была создана на базе фокального редуктора обсерватории Haute Provence [4], находящегося во временной эксплуатации в CAO АН СССР, и универсальной платформы первичного фокуса, разработанной и изготовленной в CAO [5]. Схема оптической части MSFS показана на рисунке.

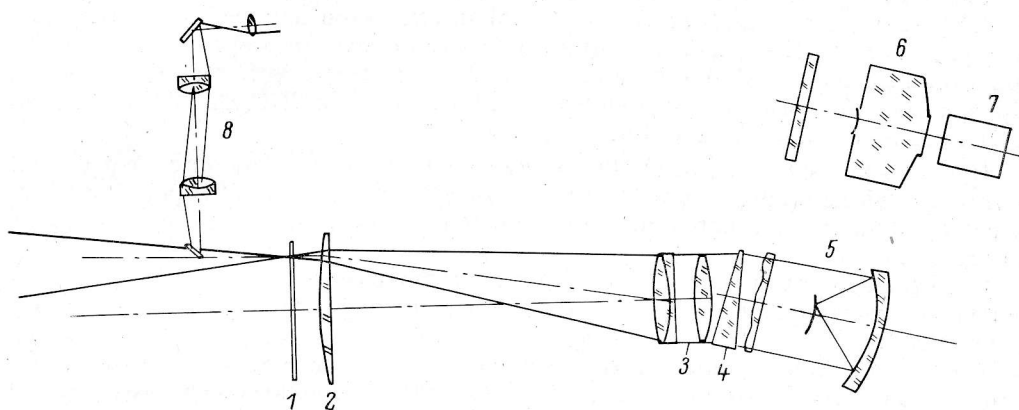
Изображение поля БТА размером 130 мм при помощи полевой линзы, коллиматора и оптики светосильной камеры Шмидта ($f/1$) строится в фокальной плоскости камеры и фотографируется на пленке диаметром 44 мм. В параллельном пучке после коллиматора устанавливается диспергирующий узел — призма или решетка. На предусмотренном в редукторе Haute Provence месте для установки интерференционных фильтров, находящихся перед фокальной плоскостью, помещается узел маски, имеющий юстировочные подвижки в пределах 0—10 мм.

Перед маской на платформе гидирования установлен подсмотр, позволяющий видеть изображение поля на зеркальной (обращенной к зеркалу БТА)

стороне маски. Сторона маски, обращенная к линзе поля, зачернена. Подсмотр, предназначенный для юстировки маски, может перемещаться в пределах 150 мм и имеет поле зрения около 10 мм (1'.5).

Отметим, что при получении прямых снимков мы пользуемся корректором без последней полевой линзы. Анализ показывает, что при реальных изображениях порядка 2'' отсутствие полевой линзы корректора не ухудшает качества изображения по полю. Существенно (в 1.4 раза) увеличивается размер исследуемого поля.

Гидирование и наведение на объект, фокусировка всей системы осуществляются при помощи универсальной платформы (ПФ) БТА, на которую установлен редуктор Haute Provence. Платформа для гидирования имеет подсмотр с полем 4' для наведения на исследуемую область и два микроскопа гидирования, выполненные на волоконных световодах. Оптическая схема платформы



Оптическая схема MSFS.

1 — маска; 2 — линза поля; 3 — коллиматор; 4 — призма; 5 — камера $f/1$, для фотографической регистрации; 6 — камера с внешним фокусом; 7 — однокаскадный ЭОП; 8 — оптика подсмотра для юстировки маски.

такова, что в один и тот же окуляр можно видеть поисковое поле либо два поля гидирующих микроскопов диаметром по 25''. В визуальном подсмотре платформы установлена турель, на которой имеется два окуляра (для поиска объекта и гидирования) и нож Фуко. Наблюдатель, таким образом, может легко переключить окуляры и вводить нож Фуко для фокусировки телескопа во время длительных экспозиций. Платформа имеет позиционный подшипник, позволяющий позиционировать установленный на ней прибор и винт тонкой коррекции по углу поворота, при помощи которого проводится коррекция ошибок программного ведения поворотного стола стакана первичного фокуса БТА.

Вместо камеры $f/1$ с внутренним фокусом может быть установлена камера с внешним фокусом UAGS для работы с однокаскадным ЭОП.

Изготовление маски. Система щелей (маска), соответствующая положениям объектов на реально снятом в первичном фокусе БТА поле, может быть изготовлена различными методами.

Для изготовления маски MSFS была использована лазерная технологическая установка «ЛЕНТА» с программным управлением процесса обработки [6]. Однако в отличие от установки, описанной в [6], в данном случае в качестве излучателя использовался лазер на ИАГ типа ЛТИ-501.

Установка «ЛЕНТА» позволяет проводить обработку тонких пленок (в данном случае металлических) методом испарения материала пленки сфокусированным лазерным излучением.

Точность обработки на поле 60×60 мм составляет 10 мкм, диаметр луча лазера в фокусе 10—20 мкм. Управление перемещением координатного стола, на котором установлена изготавливаемая маска, в пределах 0—60 мм осуществлялось от числового программного устройства.

Методика подготовки данных и изготовления маски. Подготовительные работы при изготовлении маски состоят из нескольких этапов:

а) получение снимка исследуемой области в первичном фокусе БТА до предельной звездной величины $23^m.5-24^m$;

б) измерение координат объектов до предельной звездной величины на координатно-измерительном приборе АСКОРЕКОРД и вывод данных на перфоленду;

в) преобразование данных измерений и подготовка управляющей перфоленды для установки «ЛЕНТА» на мини-ЭВМ СМ-4 при помощи программы MULTIS;

г) изготовление маски на алюминированной пластинке 130×130 мм при помощи установки «ЛЕНТА»;

д) оценка координатных погрешностей на изготовленной маске.

Описание программы MULTIS. Разработанная авторами программа MULTIS предназначена для ввода в ЭВМ результатов измерений, сортировки и группировки данных, «генерации» щелей данного размера для каждого объекта, вывода и проверки управляющей перфоленды установки «ЛЕНТА». Программа диалоговая и написана на языке МАКРОАССЕМБЛЕР и ФОРТРАН-IV мини-ЭВМ СМ-4.

Программа состоит из основного блока, реализующего диалог с оператором, и управления подпрограммами ввода и вывода перфоленды, сортировки и группировки данных и генерации управляющих кодов в формате установки «ЛЕНТА».

Особенности установки «ЛЕНТА» (малый расход стола) требуют последовательного изготовления щелей для поля размером около $100-120$ мм в четырех квадрантах.

Время подготовки данных составляет около $1-1.5$ ч, а время счета и вывода управляющей ленты — около 2 ч для $400-500$ измеренных объектов.

Оценка работоспособности методики. Для проверки разработанной методики изготовления маски была изготовлена маска по реальному полю, снятому на БТА. Использовалось поле в области группы Tiffit-0206, полученное с первым главным зеркалом БТА 18/19.12.76 [7]. Снимок области получен при качестве изображения около $1^m.5$ и имеет предельную звездную величину около 24^m в *B*-цвете. На пластинке отмечено около 400 объектов, которые были измерены на приборе АСКОРЕКОРД, и по результатам измерений при помощи программы MULTIS была подготовлена управляющая перфоленда для установки «ЛЕНТА». В августе 1981 г. была изготовлена маска. Для оценки координатных погрешностей полученная маска измерялась на АСКОРЕКОРДЕ и результаты измерения координат центров щелей сравнивались с их «истинными» координатами. Оказалось, что среднеквадратичная погрешность изготовления щели с данными координатами не превышает 40 мкм.

Размер изготовленных щелей был равен 0.16×1 мм. Неровности края щели и вариации ширины щелей не превышают $2-3$ мкм. Остаточные металлические включения на прозрачной части щели (вероятно, связанные с «перепылением» алюминиевого слоя) и помутнение стекла из-за неоднородностей показателя преломления при обработке лазером приводят к ухудшению прозрачности щелей и эффектам дифракции. Прозрачность реальных щелей составляет $90-95\%$ по отношению к «чистому» стеклу, а эффекты дифракции приводят к появлению рассеянного света с яркостью порядка 5% от яркости объекта.

Результаты предварительных испытаний. При испытании описанной схемы полевого многощелевого спектрографа в лаборатории и на телескопе проверялись следующие параметры прибора.

1. Одновременно регистрируемый спектральный диапазон, который ограничен при данной величине разрешающей способности вторичным спектром линзовой оптики MSFS. Эксперименты показали, что при некоторой неколлимированности пучка, попадающего на диспергирующий узел (коллиматор устанавливается в 30 мм от правильного положения), возможна частичная компенсация вторичного спектра коллиматора, имеющего величину около 0.6 мм в диапазоне $4000-7000 \text{ \AA}$. Это связано с возникающим в сходящемся пучке астигма-

тизмом решетки или призмы, величина которого имеет противоположный (по сравнению со вторичным спектром) ход с длиной волны [8]. Практически в диапазоне длин волн 4000—6000 Å величина поперечных хроматических aberrаций порядка 30 мкм, что соответствует размеру разрешаемого элемента для применяемых светоприемников (фотоэмульсия и однокаскадный ЭОП).

2. Время регистрации ночного неба. Предельная звездная величина с MSFS достигается в том случае, когда при данной дисперсии регистрируется фон ночного неба. В августе 1981 г. MSFS был испытан на БТА. Маска для поля Tiffit-0206 была съюстирована на поле по двум звездам и сделана пробная экспозиция поля с дисперсией около 1500 Å у H_γ на фотоэмульсии А-600 н. За время экспозиции порядка 20 мин регистрируется яркая эмиссионная линия ночного неба [01] λ 5577 Å.

Судя по полученному результату, полное время экспозиции, необходимое для достижения предела на этой дисперсии, должно быть 7—8 ч.

Практическая юстировка маски в стакане ПФ БТА показала, что на реальном звездном поле такую юстировку можно провести за 15—20 мин с точностью не хуже 0'5.

Технические характеристики MSFS. Перечислим основные характеристики созданного варианта прибора для БТА.

Спектральный диапазон — λ 4000—7500 Å, прозрачность оптики в УФ-области ($\lambda < 3900$ Å) плохая.

Рабочие дисперсии: при работе с призмой из К8 с углом 22° у H , K CaI — 1000 Å/мм, H_γ — 1500 Å/мм, H_β — 2000 Å/мм. При работе с прозрачной решеткой (число штрихов 75мм⁻¹, угол блеска ~5°) — около 650 Å/мм. Величины дисперсий приведены для камеры $F=100$ мм.

Рабочее поле 18'5.

Предельная звездная величина объекта, спектр которого может быть зарегистрирован на фотоэмульсии типа 103 при изображениях 1''—1'5 за 6—7 ч при дисперсии 1500 Å/мм, — порядка 23^m в B .

Закключение. Будущее развитие реализованного нами метода многоцелевой полевой спектроскопии на БТА предполагает автоматическую обработку получаемых снимков при помощи ЭВМ. В отличие от снимков, получаемых с бесщелевым спектрографом, где автоматическая обработка требует решения проблемы поиска объектов на негативе, снимки, полученные с MSFS, имеют заранее известные координаты исследуемых объектов. Это значительно упрощает алгоритмы автоматической обработки и позволяет проводить обработку (считывание) спектров с хорошей позиционной точностью и вычитанием спектра ночного неба.

В настоящее время планируется создание математического обеспечения для обработки результатов, получаемых с MSFS. Основные задачи, решаемые программой обработки:

- а) классификация объектов;
- б) определение лучевых скоростей методами кросс-корреляции;
- в) идентификация линий в спектрах объектов различного типа;
- г) спектрофотометрия относительно ярких (19—20 зв. величины) объектов в исследуемых полях.

Параллельно с программой наблюдений методом MSFS предполагается проведение фотоэлектрических измерений слабых объектов с целью создания слабых (22—24 зв. величины) стандартов, что крайне важно при количественных исследованиях объектов, изучаемых методом MSFS.

Предварительные методические результаты и программа наблюдений методом MSFS на БТА, проведение которой начато в первом полугодии 1982 г., обсуждались во время дискуссии по мультиобъектной спектроскопии на Коллоквиуме МАС № 67 в САО АН СССР 08—13.09.

Авторы выражают благодарность проф. Куртесу (Франция) за разрешение использовать редуктор обсерватории Haute Provence и плодотворные дискуссии по проблемам полевой спектроскопии, а также чл.-кор. АН СССР Л. Н. Курбатову и директору САО АН СССР И. М. Копылову за поддержку и интерес к работе.

Литература

1. Hoag A. A. Faint blue object in the field of M67. — Publ. Astron. Soc. Pac., 1976, 88, p. 860.
2. Дмитриев Г., Бэкер Д. Телескопы. Гостехиздат, 1947. 150 с.
3. Geuer E. H., Hoffman M., Nelles B. On the use of a focal-reducer system for slitless field-spectroscopy. — Astron. and Astroph., 1979, 80, p. 248.
4. Courtes G. — Publ. Obs. Haute-Provence, 1951, 2, no 19, I, II.
5. Многощелевой полевой спектрограф БТА / В. Л. Афанасьев, С. Н. Додонов, И. Д. Караченцев и др. — САО АН СССР, 1981.
6. Свиридов А. Н., Тропихин Ю. Д., Каменский А. Г. — Приборы и техника эксперимента, 1974, № 2, с. 260—261.
7. Karachentsev I. D., Tifft W. G. A group of galaxies in Cetus with a redshift discrepancy. — Astron. Astroph., 1978, 63, p. 411—413.
8. Schroeder D. J. — Journal of the optical Soc. of America, 1970, 60, p. 1022—1026.

Поступила в редакцию 19.04.82