

На правах рукописи
УДК 520.353:520.84

ПЕРЕПЕЛИЦЫН АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ

**АППАРАТУРА ДЛЯ ПАНОРАМНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
ДЛЯ РОССИЙСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ**

Специальность 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Специальной Астрофизической Обсерватории Российской Академии Наук

Научный руководитель:

Моисеев Алексей Валерьевич — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук, пос. Нижний Архыз

Официальные оппоненты:

Ильфан Фяритович Бикмаев — доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрономии и космической геодезии, Институт Физики Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань

Назар Робертович Ихсанов — доктор физико-математических наук, директор Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук, г. Санкт-Петербург

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва

Защита состоится 18 мая 2021 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 002.067.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН) по адресу: 191187, Санкт-Петербург, наб. Кутузова, д. 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН и на сайте www.iaaras.ru.

Автореферат разослан 4 марта 2021 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук

 Бондаренко Юрий Сергеевич

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования

Исследования слабых протяжённых объектов, таких как внешние области галактик, газовые туманности различных типов, гравитационные линзы и т.д. проводятся на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) уже несколько десятилетий и входят в число основных наблюдательных программ. Яркость таких объектов сопоставима с яркостью ночного неба, а морфология в картинной плоскости лишена центральной симметрии. Поэтому панорамная (называемая также 3D) спектроскопия, подразумевающая получение спектров во всём поле зрения прибора, здесь значительно информативнее, чем классическая длиннощелевая. На 6-метровом Большом телескопе азимутальном (БТА) САО РАН применяются и активно развиваются два направления панорамной спектроскопии: интегрально-полевая спектроскопия [1] и интерферометрия с эталоном Фабри-Перо [2]. Оба метода сейчас реализованы в многорежимном фокальном редукторе первичного фокуса БТА SCORPIO-2 (Spectral Camera with Optical Reducer for Photometric and Interferometric Observations) [3]. Кроме того, для работы с новым классом интерферометров Фабри-Перо, так называемым перестраиваемым узкополосным фильтром [4], создан редуктор светосилы — MaNGaL (Mapper of Narrow Galaxy Lines, “Картировщик узких галактических линий”). Этот прибор работает на телескопах умеренного диаметра и получает данные о распределении излучения в выбранных эмиссионных линиях ионизованного газа, сопоставимые по качеству с данными БТА, с поправкой на более низкое спектральное разрешение.

Исследования на БТА ведутся в достаточно плотном графике различными методами, для каждого из которых выделяется определённое количество ночей. Учитывая не самый лучший астроклимат, любые сбои аппаратуры и лишние действия наблюдателей приводят к потере времени и срыву сроков работ. Гибкость в выборе наблюдательных программ под текущее состояние атмосферы обеспечивают многорежимные спектрографы. Благодаря возможности быстрой перестройки оптической схемы, они позволяют наиболее эффективно использовать наблюдательное время. Поэтому сейчас активно развивается направление, связанное с разработкой редукторов светосилы, обладающих набором самых разных режимов, таких как фотометрия, поляриметрия, безщелевая / длиннощелевая / многощелевая спектроскопия

низкого и умеренного разрешения и, разумеется, панорамная спектроскопия. Одним из первых приборов такого класса являлся EFOSC [5] 3.6-м телескопа ESO. Развитие этой концепции можно проследить на больших телескопах, на примере приборов FORS и FORS2 [6] на 8.2-м телескопе VLT, OSIRIS [7] на 10.4-м GTC и др. По этим же принципам были изготовлены фокальные редукторы SCORPIO-1 [8] и SCORPIO-2 для БТА САО РАН, второй из которых рассматривается в данной диссертационной работе.

Навесная аппаратура телескопа должна быть надёжна и автоматизирована. В единый комплекс важно объединить все инструменты: спектрограф, систему гидирования и калибровки, систему регистрации изображений, архив наблюдательных данных и телескоп. Хорошо отлаженный наблюдательный комплекс начинает привлекать всё больше новых исследователей-заявителей наблюдательного времени. Не приносящие результатов и не имеющие перспектив программы постепенно вытесняются, вследствие чего повышается качество проводимых исследований и возрастает эффективность телескопа в целом. Названные выше методы панорамной спектроскопии и специально разработанная под них аппаратура не уступают своим аналогам на крупных зарубежных телескопах и позволяют получать наблюдательные данные высокого качества в отечественных обсерваториях.

Цели и задачи исследования

Целью данной работы является создание и методическое исследование следующих приборов и их модулей:

- фотометра MaNGaL с перестраиваемым фильтром, используемого в наблюдениях на 1-м телескопе “Цейсс-1000” САО РАН и 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (КГО ГАИШ МГУ);
 - блока интегрально-полевой спектроскопии в составе многорежимного редуктора светосилы первичного фокуса 6-м телескопа SCORPIO-2;
- а также модернизация:
- системы внеосевого гидирования и системы светодиодной засветки калибровочного модуля адаптера, используемого в наблюдениях на 6-м телескопе САО РАН совместно с приборами SCORPIO-1 и SCORPIO-2;

- системы дистанционного управления редуктором светосилы SCORPIO-2.

Научная новизна

Новизна работы определяется следующим:

- Впервые в практике российских обсерваторий создан широкопольный фотометр с узким (ширина полосы около 1.5 нм) перестраиваемым фильтром для построения изображений протяжённых туманностей и галактик в линиях ионизованного газа.
- Впервые в практике российских обсерваторий реализована схема светодиодной засветки “плоского поля” в широком спектральном диапазоне.

Научная и практическая значимость

- Испытаны и введены в эксплуатацию фотометр MaNGaL для телескопов среднего диаметра CAO РАН и КГО ГАИШ МГУ и модуль интегрально-полевой спектроскопии редуктора светосилы SCORPIO-2 на 6-м телескопе CAO РАН.
- Спектральные и фотометрические данные, получаемые на приборах MaNGaL и SCORPIO-2 в режиме интегрально-полевой спектроскопии уже активно используются как в российских (CAO РАН, ГАИШ МГУ, ИНАСАН, МФТИ) так и в зарубежных астрофизических институтах (University of Alabama, California Polytechnic State University).

Основные положения, выносимые на защиту

1. Создан редуктор светосилы MaNGaL с перестраиваемым фильтром на основе сканирующего интерферометра Фабри-Перо, используемый для наблюдений на 1-м телескопе “Цейсс-1000” CAO РАН и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ.
2. Реализован и испытан блок интегрально-полевой спектроскопии в составе фокального редуктора SCORPIO-2 на 6-м телескопе CAO РАН.
3. Введены в строй обновлённая система внеосевого гидрирования и система светодиодной засветки калибровочного модуля адаптера, используемого в наблюдениях на 6-м телескопе CAO РАН совместно с приборами SCORPIO-1 и SCORPIO-2.

4. В редукторе светосилы SCORPIO-2 модернизирована система управления, что повысило надёжность его работы, а следовательно — процесса наблюдений, и позволило упростить и ускорить процедуру установки аппаратуры на телескоп.

Апробация работы

Результаты работы представлялись на семинарах и конкурсах научных работ САО РАН, докладывались на ряде российских и международных конференций:

1. Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2017) “Астрономия: познание без границ”, Ялта, республика Крым, 17–22 сентября 2017 г.
2. Всероссийская конференция “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра НЕА-2017”, ИКИ РАН, г. Москва, 18–21 декабря 2017 г.
3. XXXV Всероссийская конференция “Актуальные проблемы внегалактической астрономии”, Пущино, 24–27 апреля 2018 г.
4. VII Пулковская молодежная астрономическая конференция, Санкт-Петербург, ГАО РАН, 28–31 мая 2018 г.
5. 15th Potsdam Thinkshop: “The role of feedback in galaxy formation: from small-scale winds to large-scale outflows”, Потсдам, Германия, 3–7 сентября 2018 г.

Публикации по теме диссертации

1. *Afanasiev V. L., Amirkhanyan V. R., Moiseev A. V., Uklein R. I., Perepelitsyn A. E.* — SCORPIO-2 Guiding and Calibration System in the Prime Focus of the 6-m Telescope. *Astrophysical Bulletin*, Vol. **72**, Is. 4, P. 458–468 (2017).
2. *Afanasiev V. L., Egorov O. V., Perepelitsyn A. E.* — IFU Unit in SCORPIO-2 Focal Reducer for Integral-Field Spectroscopy on the 6-m Telescope of the SAO RAS. *Astrophysical Bulletin*, Vol. **73**, Is. 3, P. 373–386 (2018).

3. *Перепелицын А. Е., Моисеев А. В., Опарин Д. В.* — Редуктор светосилы MaNGaL с перестраиваемым фильтром для малых и средних телескопов. Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. Труды VII Пулковской молодежной астрономической конференции, ?226, С. 65-70 (2018).
4. *Moiseev, A., Perepelitsyn, A., Oparin, D.* — Mapper of Narrow Galaxy Lines (MaNGaL): new tunable filter imager for Caucasian telescopes. Experimental Astronomy, **50**, 199?214 (2020).
5. *А. Е. Перепелицын, В. Р. Амирханян, А. В. Моисеев* — Система управления редуктора светосилы SCORPIO-2. Труды ИПА РАН, вып. **53**, 44?53 (2020).

Личный вклад автора

- Автор принимал ведущее участие в создании и конструировании прибора MaNGaL в работах [3-4].
- В работе [2] принимал равноправное участие в разработке и реализации волоконно-оптической части интегрально-полевого блока SCORPIO-2.
- В работе [1] автор наравне с соавторами участвовал в оптимизации системы внеосевого гидирования и светодиодной засветки калибровочного модуля адаптера.
- Принимал определяющее участие в процессе модернизации системы управления SCORPIO-2, им выполнена основная техническая работа, описанная в статье [5].

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения; содержит 48 рисунков, 2 таблицы. Список цитируемой литературы включает 64 наименования. Общий объем диссертации — 103 страницы.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, обсуждаются её цели. Формулируются основные положения, выносимые на защиту. Кратко изложены структура и содержание работы, дается характеристика научной новизны и практической ценности полученных

результатов. Приводится список публикаций, в которых представлены результаты данной работы, с указанием личного вклада автора в совместных публикациях.

В **Главе I** представлена система управления навесной аппаратурой телескопа, позволяющая проводить дистанционные наблюдения. Особенности функционирования системы на различных уровнях показаны на примере наблюдательного комплекса, в который входят многорежимный редуктор светосилы SCORPIO-2 и специальный адаптер — система гидирования и калибровочной засветки.

В разделе 1.1 рассматривается устройство системы управления редуктора светосилы SCORPIO-2 и адаптера, показаны принципы функционирования как отдельных частей, так и наблюдательного комплекса в целом. Компактный компьютер MR3253S00F, установленный в корпусе фокального редуктора, осуществляет управление и контроль состояния редуктора и адаптера, взаимодействие с ПЗС, сбор и хранение получаемой информации. Для дистанционной работы с этим компьютером используется программа управления удалённым рабочим столом. SCORPIO-2 содержит 42 сменных оптических элемента и 19 перестраиваемых элементов. В комплексе работает 21 электромотор, текущее состояние контролирует 81 датчик. Чтобы обеспечить управление и контроль столь обширным набором устройств используется распределенная система, включающая 7 микропроцессоров AVR ATmega (5 в SCORPIO-2 и 2 в адаптере).

Раздел 1.2 посвящён адаптеру — системе внеосевого гидирования и фотометрической калибровки широкоугольных спектрографов первичного фокуса БТА. Адаптер постоянно используется для наблюдений со SCORPIO-1 и SCORPIO-2. Для компенсации комы в изображении внеосевых звезд применяется ахроматический линзовый корректор. Прибор имеет два подвижных поля гидирования диаметром 54", которые перемещаются в прямоугольных полях размером 10' × 4'5. Реализован автоматический поиск звезд гидирования, контроль по их яркости вариаций прозрачности атмосферы, фокусировка телескопа во время экспозиции.

Отдельное внимание уделяется системе калибровочной засветки адаптера, включающей источник линейчатого спектра — газоразрядный стабилитрон СГЗС с гелий-неон-аргоновым наполнением и источник непрерывного спектра. Галогеновая лампа, в качестве традиционного источника непрерывного спектра, обладает некоторыми известными недостатками, а именно, падением яркости в синей области спектра (длины волн короче

5000 Å), так что здесь существенным оказывается вклад рассеянного света от более длинноволновой части спектра. Для решения проблемы была создана система светодиодной калибровочной засветки. “Плоское поле”, формируемое светодиодами, настраивается для каждой решётки и даёт более равномерную засветку по длинам волн в сравнении с галогеновой лампой.

Для оценки реальной стабильности светодиодной засветки в лаборатории были получены два ряда спектральных “плоских полей” с прибором SCORPIO-2 с использованием объемной фазовой голографической решётки VPHG 940@600 в течение 10 часов с шагом в 1 час и в течение 1 часа с шагом в 1 минуту. Вариации в течение часа оказались меньше пуассоновского шума. За 10 часов имеет место постепенное увеличение амплитуды вариаций от 1% до 2% с ростом длины волны, несмотря на небольшие колебания температуры внешней среды (в пределах 5°C).

В **Главе II** рассматриваются особенности метода интегрально-полевой спектроскопии и описан процесс разработки, создания и методического исследования интегрально-полевого блока (IFU) в составе многорежимного редуктора SCORPIO-2. Интегрально-полевой блок предназначен для панорамной спектроскопии центральных частей галактик в эмиссионных линиях, для определения состояния ионизации газа, изучения его кинематики и т.д.

Спектроскопия интегрального поля, как метод астрономических наблюдений, за одну экспозицию получает спектры многих пространственных элементов — “спакселей” одновременно для всего двумерного поля зрения. Каждому спакселю выборки можно сопоставить его индивидуальный спектр, и в процессе обработки данных — реконструировать карты на произвольных длинах волн. Для инструментов с ортонормированной геометрией пространственной выборки спектры могут быть упорядочены для формирования трехмерного массива, который чаще всего называют “кубом данных”. В результате куб данных содержит и спектральную, и пространственную информацию. Появление за последние десятилетия новых технологических возможностей привело к созданию эффективных спектрографов с относительно большим полем зрения. Обсерватории по всему миру теперь оснащены модулями интегрально-полевой спектроскопии, например MUSE [9] и GMOS [10] на 8-метровых телескопах. Постепенно, этот метод становится стандартным инструментом исследования протяжённых астрономических объектов среди астрофизиков-наблюдателей в оптическом и ИК диапазонах.

Большинство интегрально-полевых спектрографов крупных телескопов

располагаются во вторичных фокусах, имеющих входную светосилу менее $F/8$. Входная светосила первичного фокуса БТА, где размещается многорежимный редуктор светосилы SCORPIO-2, равна $F/4$, что накладывает существенные ограничения на конструкцию интегрального-полевого блока. Кроме того, габариты самого спектрографа ограничены небольшим пространством кабины первичного фокуса. Идея, позволяющая разместить блок в корпусе SCORPIO-2, сохранив возможность быстрого переключения режимов работы, основана на принципе использования линзового растра в сочетании с оптическими волокнами. Решение предложено Г. Куртесом [11] и впервые в мире, в 1989 г. было реализовано на 6-м телескопе САО РАН в спектрографе MPFS (Multi Pupil Fiber Spectrograph) [1]. С тех пор в Лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН было разработано и создано несколько поколений таких приборов [12], последним из которых и является IFU / SCORPIO-2.

В режиме IFU используется отдельный коллиматор, который вводится в световой пучок вместо основного. Оптическая схема интегрально-полевого блока представлена на рисунке 1. Узел линзового растра со световодами расположен внутри коллиматора, имеющего в последних трех линзах прямоугольные отверстия размером 60×80 мм, что позволяет значительно уменьшить габариты. Линзовый растр состоит из массива 22×22 прямоугольных линз размером 2×2 мм, масштаб изображения составляет $0{,}75$ на линзу, а размер поля зрения $16{,}5 \times 16{,}5$. Каждая линза формирует изображение зеркала телескопа (микроразрешение) диаметром 150 мкм. Полученная матрица микроразрешений реформируется при помощи оптических волокон в две псевдощели, которые проектируются коллиматором и камерой в плоскость ПЗС. Объемная фазовая голографическая решётка формирует на формате светоприёмника два массива спектров.

В нижней правой части рисунка 1 показана увеличенная область маски со световодами под линзовым растром. Точное изготовление маски, расстановка световодов и обработка узла оказались не простыми и трудоёмкими задачами. Пришлось изготовить около десяти версий волоконного блока, прежде чем удалось добиться приемлемой точности, при которой плоскость массива световодов была согласована с матрицей выходных микро-разрешений, обеспечивая пропускание не ниже 90%. Процесс осложнялся миниатюрными размерами блока IFU, когда на точность изготовления и последующего контроля начинали влиять такие факторы, как окружающая температура, деформации при высыхании клея, биение ходового винта станка при из-

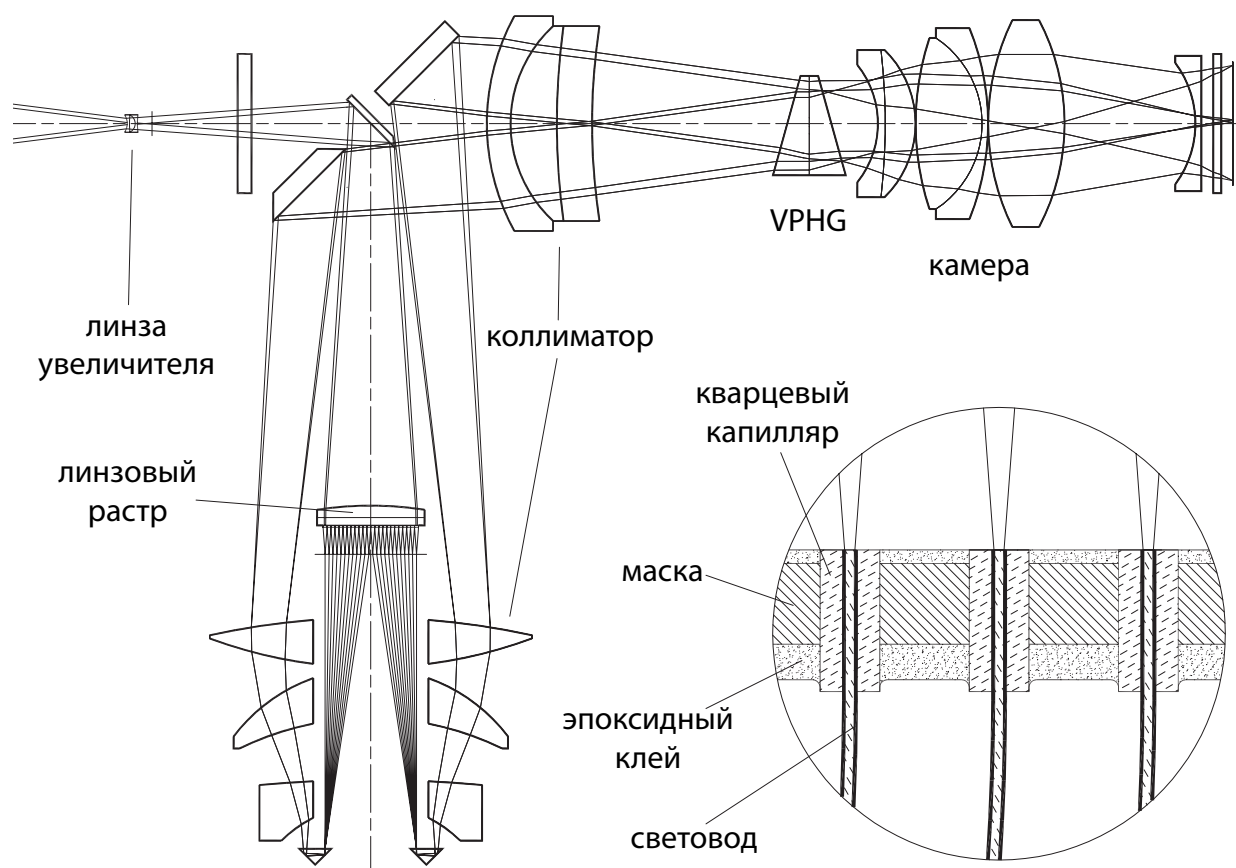


Рис. 1: Оптическая схема SCORPIO-2 в режиме IFU.

готовлении маски и пр. Учитывая потери на оптических поверхностях и абберации микролинз, реальное пропускание узла линзового раstra сейчас составляет не менее 65%. Суммарная квантовая эффективность прибора на телескопе в режиме IFU в зависимости от решётки находится в пределах от 6 до 13%, что при прочих равных условиях превышает эффективность спектрографа MPFS приблизительно в три раза.

Глава III посвящена панорамной спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри-Перо и прибору MaNGaL с перестраиваемым узкополосным фильтром, используемым в наблюдениях на 1-м телескопе CAO РАН и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ.

Системы формирования изображений, основанные на сканирующих интерферометрах Фабри-Перо (ИФП), имеют долгую историю астрономических приложений, связанных с изучением протяжённых объектов: галактических и внегалактических туманностей, объектов солнечной системы. Перестраиваемые узкополосные фильтры (tunable filters) являются частным случаем таких инструментов для низких порядков интерференции,

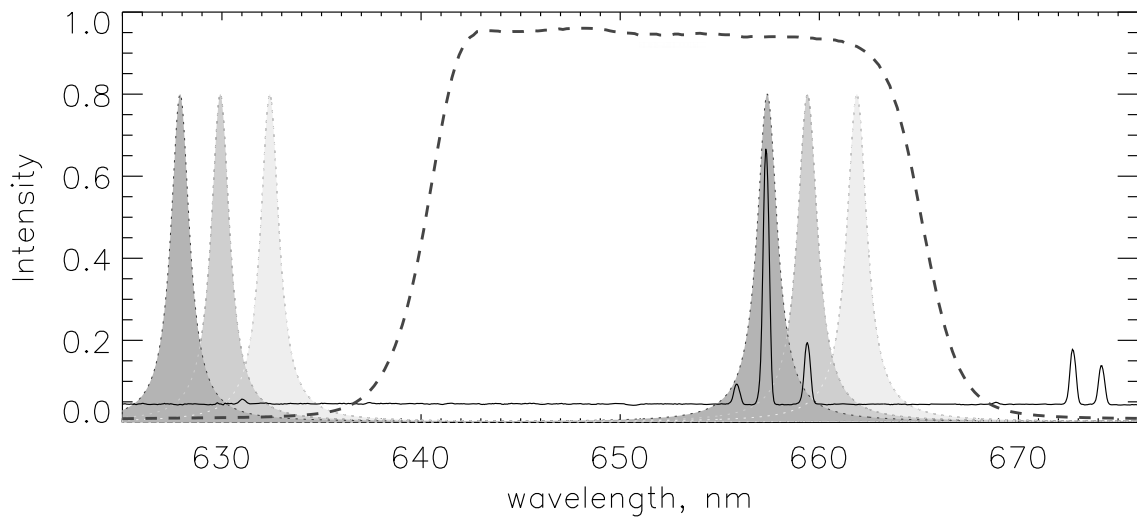


Рис. 2: Принцип работы перестраиваемого фильтра. Спектр галактики (континуум + эмиссии) показан сплошной чёрной линией, а чёрным пунктиром — кривая пропускания среднеполосного фильтра, вырезающего требуемые пики пропускания. Серыми градациями обозначены положения инструментального профиля интерферометра Фабри-Перо, который в данном случае настраивается для наблюдения в эмиссионных линиях $H\alpha$, $[N II]$ и в соседнем континууме.

и начали применяться на оптических телескопах с конца 90-х. Основная идея наблюдений поясняется на рисунке 2. При достаточно малом зазоре между пластинами ИФП, соответствующем порядкам интерференции $n = 10 \div 30$, легко получить значение полуширины инструментального профиля (FWHM) $\delta\lambda = 1 \div 2$ нм. Поскольку расстояние между соседними порядками интерференции $\Delta\lambda = \lambda/n$, то можно выделить один требуемый пик пропускания с помощью среднеполосного фильтра с шириной полосы около 15–30 нм. Пиковая центральная длина волны пропускания может переключаться между желаемой линией излучения и соседним континуумом с помощью пьезоэлектрически настроенного и сервостабилизированного ИФП. Этот метод позволяет производить точное вычитание континуума для получения “чистых” эмиссионных изображений и точно разделять соседние эмиссионные линии ($H\alpha$ и $[N II]\lambda 6548, 6583$ или $[S II]\lambda 6717, 6731$). Последнее важно для исследования различных механизмов возбуждения эмиссионного спектра и для измерения электронной плотности ионизованного газа, но обычно невозможно при “традиционной” фотометрии в средне- и узкополосных фильтрах. При этом наблюдения с перестраиваемым фильтром дают значительно большее поле зрения по сравнению с интегрально-полевыми спектрографами, рассмотренными в предыдущей главе (от нескольких угловых минут до десятков угловых минут

на больших телескопах, тогда как один из наиболее востребованных и эффективных на сегодняшний день панорамных спектрографов MUSE / VLT имеет поле зрения только $1'$ [9]).

Главным отличием “картировщика узких галактических линий” — MaNGaL от аналогичных систем является установка ИФП в сходящемся от телескопа пучке лучей. Ещё в 1951-1955 гг. Г. Куртес показал [13], что наилучшее расположение эталона Фабри-Перо — вблизи фокальной плоскости телескопа, без каких-либо других оптических средств. За счёт наклона в сходящемся пучке лучей, длина волны полосы пропускания мало меняется по полю зрения, и минимизируется эффект паразитных отражений. Кроме того, схема Куртеса позволяет значительно расширить диаметр так называемого монохроматического “пятна Жакино” [14]. Несмотря на перечисленные преимущества, неклассическая схема установки эталона используется крайне редко.

Система управления MaNGaL построена на тех же принципах, что и система SCORPIO-2. Аналогичный, встроенный в корпус компактный компьютер управляет всеми узлами прибора и подключаемыми модулями. Узел калибровки состоит из интегрирующей сферы и двух источников излучающих линейчатый и непрерывный спектр. В оптико-механической части используется ряд готовых решений, поэтому для управления прибором достаточно одного микропроцессора AVR Attiny2313. Использование готовых узлов, таких как турель светофильтров и объектив, в совокупности с практически готовой методикой, позволили за пол года разработать, собрать, отъюстировать прибор и начать выполнять на нём наблюдения. Основные технические детали и некоторые результаты работы прибора MaNGaL на телескопах “Цейсс-1000” САО РАН и 2.5-м КГО ГАИШ МГУ подробно рассматриваются в тексте главы.

Работа со сканирующим интерферометром Фабри-Перо представляется многим астрономам методически сложной. Отчасти поэтому на телескопах среднего диаметра в САО РАН и ГАИШ МГУ оказалась свободна тематическая ниша, которую достаточно удачно занял наш “картировщик”. С некоторыми из опубликованных результатов, полученных с перестраиваемым фильтром прибора MaNGaL, можно ознакомиться в работах [15] о структуре галактических туманностей и [16, 17] — о распределении ионизованного газа в галактиках различных типов.

В **Заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Список литературы

- [1] Multi-Pupil Fiber Spectrograph of the 6-meter Telescope / V. L. Afanasev, V. V. Vlasjuk, S. N. Dodonov, O. K. Sil'shenko // *Preprint Spec. Astrophys. Obs. of RAS.* — 1990. — Vol. 54. — P. 1–12.
- [2] Moiseev A. V. Reduction of CCD observations with scanning Fabry-Perot interferometer // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory.* — 2002. — jan. — Vol. 54. — P. 74–88.
- [3] Afanasiev V. L., Moiseev A. V. SCORPIO on the 6 m Telescope: Current State and Perspectives for Spectroscopy of Galactic and Extragalactic Objects // *Baltic Astronomy.* — 2011. — aug. — Vol. 20. — P. 363–370. — 1106.2020.
- [4] Bland-Hawthorn J., Jones D. H. Taurus tunable filter: A flexible approach to narrowband imaging // *Publications of the Astronomical Society of Australia.* — 1998. — Vol. 15, no. 1. — P. 44–49.
- [5] The ESO Faint Object Spectrograph and Camera / EFOSC / B. Buzzoni, B. Delabre, H. Dekker et al. // *The Messenger.* — 1984. — dec. — Vol. 38. — P. 9.
- [6] Twenty Years of FORS Science Operations on the VLT / G. Rupprecht, H. Bönhardt, S. Moehler et al. // *The Messenger.* — 2010. — jun. — Vol. 140. — P. 2–7.
- [7] OSIRIS tunable imager and spectrograph for the GTC: from design to commissioning / Beatriz Sánchez, Marta Aguiar-González, Roberto Barreto et al. // *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV* / Ed. by Ian S. McLean, Suzanne K. Ramsay, Hideki Takami. — Vol. 8446 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series.* — 2012. — sep. — P. 84464T.
- [8] Afanasiev V. L., Moiseev A. V. The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope // *Astronomy Letters.* — 2005. — mar. — Vol. 31, no. 3. — P. 194–204. — astro-ph/0502095.
- [9] MUSE Commissioning / R. Bacon, J. Vernet, E. Borisova et al. // *The Messenger.* — 2014. — sep. — Vol. 157. — P. 13–16.
- [10] Gemini-north multiobject spectrograph: integral field unit / Graham J. Murray, Jeremy R. Allington-Smith, Robert Content et al. // *Instrument Design and Performance for Optical/Infrared Ground-based Telescopes* / Ed. by Masanori Iye, Alan F. M. Moorwood. — Vol. 4841 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series.* — 2003. — mar. — P. 1750–1759.

- [11] *Courtes G.* An Integral Field Spectrograph (IFS) for Large Telescopes // IAU Colloq. 67: Instrumentation for Astronomy with Large Optical Telescopes / Ed. by C. M. Humphries. — 1982. — Vol. 92. — P. 123.
- [12] *Afanasev V. L., Dodonov S. N., Moiseev A. V.* "Kinematics of circumnuclear regions of galaxies: 2D spectroscopy on SAO RAS 6m telescope // in *Stellar dynamics: from classic to modern*, Edited by *L. P. Ossipkov and I. I. Nikiforov*. — 2001. — P. 103–109.
- [13] *Courtes G.* Technique d'observation de l'émission monochromatique interstellaire // *Astronomical Optics and Related Subjects*, Proceedings of a symposium held 19-22 April, 1955 at the University of Manchester. — Amsterdam: North Holland Publishing Company. — 1956. — P. 195.
- [14] *Courtes G.* Symposium on instrumental astronomy: Interferometric studies of emission nebulosities // *Astronomical Journal*. — 1964. — jun. — Vol. 69. — P. 325.
- [15] 3D structure of the H II region Sh2-235 from tunable-filter optical observations / *M. S. Kirsanova, P. A. Boley, A. V. Moiseev et al.* // *MNRAS*. — 2020. — sep. — Vol. 497, no. 1. — P. 1050–1058. — 1911.04551.
- [16] AGN photoionization of gas in companion galaxies as a probe of AGN radiation in time and direction / *W. C. Keel, V. N. Bennert, A. Pancoast et al.* // *MNRAS*. — 2019. — mar. — Vol. 483, no. 4. — P. 4847–4865. — 1711.09936.
- [17] *Oparin D. V., Egorov O. V., Moiseev A. V.* Ionized Gas in the NGC 3077 Galaxy // *Astrophysical Bulletin*. — 2020. — oct. — Vol. 75, no. 4. — P. 361–375. — 2010.02333.

Бесплатно

Перепелицын Александр Евгеньевич

Аппаратура для панорамной спектроскопии для российских оптических
телескопов

Зак. № 207с Тираж 100

Специальная астрофизическая обсерватория РАН