Мультизрачковый спектрограф MPFS. Руководство пользователя

Афанасьев В.Л., Власюк В.В., Додонов С.Н., Драбек С.В.

5 марта 1995 г.

Аннотация

Приводится описание мультизрачкового спектрографа, предназначенного для проведения 2D-спектроскопии протяженных объектов, и методики наблюдений с ним. Даны характеристики оптической системы и используемой ПЗС-матрицы. Изложена последовательность редукции наблюдательных данных.

ответственный	*телефон*	*e-mall*
Афанасьев В.Л.	(878-78)46-296	vafan@sao.stavropol.su

Содержание

1 ВВЕДЕНИЕ

Применение спектрографов с длинной щелью при спектральных исследованиях протяженных объектов имеет ряд недостатков.Основным недостатком является пространственная одномерность таких спектрографов и трудность отличия пространственной и спектральной морфологии для деталей изображения, размер которых близок к размеру щели. Точная локализация положения щели на изображении и получение абсолютных потоков в спектре в таких спектрографах весьма затруднительно.

Получение изображений галактик в узких интерференционных фильтрах и сравнение их для различных линий или участков спектра позволяет локализовать наиболее интересные участки для последующего более детального исследования при помощи светосильных спектрографов. Достаточно эффективной при исследовании кинематики в узких линиях с высоким спектральным разрешением, но небольшим числом одновременно регистрируемых спектральных элементов (20÷40),представляется в этом случае применение перестраиваемых эталонов Фабри-Перо с регистрацией на панорамных цифровых системах - системы типа TAURUS (Тейлор и Атертон, 1980) и CIGALE (Булестекс и др., 1983). Однако в таких системах существует проблема "куба данных" - при приближении к пределу углового и спектрального разрешения мы не можем отличить пространственных морфологических особенностей в изображении объекта от спектральных. Эта трудность, достаточно типичная для всех интерферометрических методов, может быть обойдена введением априорных предположений о форме (пространственной и спектральной) исследуемых деталей.

Предложенный Куртесом (1980) метод "интегральной полевой спектроскопии", вероятно, является наилучшим решением обсуждаемой проблемы. Суть метода, на основе которого создан интегральный полевой спектрограф TIGER (Куртес и др.,1988), заключается в следующем - в фокальной плоскости телескопа, изображение которой построено при помощи увеличивающей линзы, установлен массив микролинз (растр), каждая из которых строит изображение входного зрачка телескопа. Полученная таким образом матрица изображений микрозрачков является входным изображением светосильного широкоугольного спектрографа, диспергирующий элемент которого установлен таким образом, чтобы получаемые в плоскости светоприемника спектры не накладывались. Такой спектрограф, как показали первые пробные наблюдения (Куртес и др., 1989) оказался чрезвычайно эффективным инструментом при исследовании центральных частей некоторых галактик и, по-существу, является двухмерным спектрофотометром. Максимальное число регистрируемых пространственных и спектральных элементов в таком спектрографе ограничено только форматом применяемого светоприемника и полем зрения камеры спектрографа. Единственным недостатком такого спектрографа является неоптимальное использование поля зрения приемника.

Использование волоконно-оптических элементов в проблеме "панорамной" спектроскопии привело к появлению систем типа DensePak (Барден и Скотт, 1986) и SILFID (Вандеррист и др., 1984). В таких изображение на входе мультиобъектного волоконно-оптического спектрографа строится с помощью световодов, регулярно (например, в виде матрицы) расположенных в фокальной плоскости телескопа. В отличие от интегрального спектрографа TIGER пространственные элементы в них расположены с большой скважностью.

Для целей детальных спектральных исследований протяженных объектов на БТА в Лаборатории спектроскопии и фотометрии САО РАН был разработан мультизрачковый спектрограф MPFS (Multi Pupil Field Spectrograph) 6-метрового телескопа, который вначале применялся для детальных исследований околоядерных областей сейфертовских галактик. В первом варианте спектрографа (Афанасьев и др., 1990) был установлен мультилинзовый блок в сочетании со световодами, а в качестве системы регистрации использовалась система счета фотонов от изображения КВАНТ (Афанасьев и др., 1987).

2 Схема спектрографа MPFS

Мультизрачковый полевой спектрограф MPFS (Multi-Pupil Field Spectrograph) предназначен для 2D-спектроскопии протяженных объектов с низким и умеренным спектральным разрешением ($\lambda/\delta\lambda \approx 400 \div 2000$) и с угловым разрешением, определяемым оптикой 6-метрового телескопа, в поле размером до $15{\times}20$ *arcsec*. Спектры от матрицы пространственных элементов регистрируются одновременно. При использовании в спектрографе эталона Фабри-Перо достигается разрешение $\lambda/\delta\lambda \approx 10000$.

В состав спектрографа MPFS входят следующие основные элементы, устанавливаемые в стакане первичного фокуса БТА :

- платформа гидирования;
- телевизионный подсмотр;
- блок увеличителей и микролинз;
- спектрограф с матрицей ПЗС;
- крейт КАМАК для управления матрицей ПЗС.

Спектрограф построен по блочному принципу и каждый блок может использоваться независимо. Схема спектрографа MPFS показана на рис.1. Дистанционное управление спектрографа осуществляется с двух пультов управления СПЕКТРОГРАФ и ПЛАТФОРМА, расположенных в аппаратной БТА.

2.1 Платформа гидирования

Предназначена для установки объекта в центр поля зрения и гидирования по боковым звездам. В платформе также находится оптический тракт для калибровки и юстировки оптических приборов, устанавливаемых на платформу. Платформа выполнена как универсальное устройство широкого применения для дистанционных наблюдений в стакане первичного фокуса 6-метрового телескопа БТА. Устанавливается на поворотный стол ПФ БТА на стандартное посадочное место. Платформа работает в двух режимах: наведение и гидирование.

2.1.1 Наведение и калибровка

В этом режиме, который включается отжатием кнопки Mirror на пульте управления ПЛАТФОРМА, в оптический пучок в радиальном направлении вводится зеркало M_1 и призма P_1. Изображение объекта из фокальной плоскости телескопа F' перестраивается в плоскость фотокатода TV-подсмотра объективами

Рис. 1: Схема мультизрачкового спектрографа MPFS

O_1 и O_2. В качестве телевизионного подсмотра используется видикон типа ЛИ-702 с предусилением на ЭОП с МКП типа ЭП-10. Регулировка усиления подсмотра осуществляется дистанционно с пульта управления подсмотра. Между объективами O_1 и O_2 в параллельном пучке установлено полупрозрачное зеркало M_2 для проектирования в плоскость фотокатода при помощи объектива O_3 изображения сетки нитей, яркость которых регулируется дистанционно с пульта СПЕКТРОГРАФ.

Зеркало M_1, вводимое в пучок - двусторонее и в режиме наведения в фокальную плоскость телескопа проектируется калибровочное изображение, освещаемое либо лампой линейчатого спектра (наполнение Ar-Ne-He), либо лампой непрерывного спектра. Турель T_1 имеет следующие позиции :

- мира ;
- матовый экран ;
- матовый экран с ослаблением 50% ;
- матовый экран с ослаблением 100%.

Освещение миры или матового экрана осужествляется через оптический кубик и позволяет при необходимости получать смешанный источник сравнения (линейчатый и непрерывный спектр). Управление включением лампы линейчатого спектра осуществляется дистанционно с пульта СПЕКТРОГРАФ.

2.1.2 Гидирование

Для гидирования по двум внеосевым звездам, что необходимо при работе в первичном фокусе БТА, и для контроля трех перемещений: по азимуту A, зенитному расстоянию Z и параллактическому углу P_2, в платформе используются два гибких стекловолоконных жгута диаметром 5 *мм* и длиной 300 *мм*. Один конец каждого жгута закреплен неподвижно в плоскости изображения оптической схемы проектирования фокальной плоскости F' на TV-подсмотр. При выведенной из пучка призме P_1 изображения торцов световолоконных жгутов проектируются на фотокатод TV-подсмотра. Второй конец каждого жгута подвижен и закреплен на двигающихся в радиальном (X-координата) и тангенциальном (Y-координата) направлениях. На подвижный торец каждого световода проектируется при помощи зеркал изображение участка поля зрения в фокальной плоскости телескопа. Поиск звезд и установка на крест нитей, проектируемый на центр поля зрения каждого поля гидирования, осуществляется перемещением подвижных концов световодов и призм. Управление перемещением - дистанцинное, с пульта ПЛАТФОРМА. Пределы перемещения $0 \div 29$ *мм* по координате X и ± 26 *мм* по координате Y. На рис.2 изображены пределы перемещения в фокальной плоскости каждого поля гидирования (вид со стороны спектрографа и ориентация системы координат на мониторе TV-подсмотра в аппаратной БТА. Отметим, что изображение на экране монитора *зеркальное*.

Рис. 2: Пределы перемещения полей гидирования в картинной плоскости и изображение на мониторе TV-подсмотра в двух режимах работы

2.1.3 Пульт управления платформы

Вид пульта ПЛАТФОРМА показан на рис.3. Клавиша **mirror** переключает режим НАВЕДЕНИЕ/ГИДИРОВАНИЕ (отжато - НАВЕДЕНИЕ, нажато - ГИДИРОВАНИЕ). Клавиша **set1/2** переключает управление движением поля гидирования (отжато - поле А, нажато - поле В). Клавиши **xh** и **xl** управляют движением поля гидирования в радиальном, а клавиши **yh** и **yl** - в тангенциальном направлениях соответственно. Измерение положений полей гидирования делается при помощи стандартного цифрового вольтметра, подключаемого к клеммам **измерение x** и **измерение y**. Сетки полей А и В на рис.2 градуированы в соответствии с измеряемыми отсчетами.

Рис. 3: Вид пульта ПЛАТФОРМА

2.1.4 Параметры платформы

- масштаб изображения в плоскости фотокатода TV-подсмотра $10''/\text{мм}$ (при входном масштабе $8.6''/\text{мм}$);
- размер поля зрения подсмотра $2.5\times2.5'$ (приведено к размеру фотокатода 15 *мм*);
- время переключения режима наведение/гидирование - 6 *сек*;
- размер полей зрения гидирования - 42 *arcsec*;
- пределы движения полей гидирования :
  - в радиальном направлении (X) $0\div240$ *arcsec*;
  - в тангенциальном направлении (Y) ±220 *arcsec*;
- точность отсчета по координатам X и Y 0.1 *мм* (≈ 1 *arcsec*);
- скорость перемещения полей гидирования 5 *arcsec/сек*;
- рабочий отрезок (расстояние от посадочной плоскости прибора до фокальной плоскости) 43 *мм*.

2.2 Блок увеличителей и микролинз

Предназначен для для формирования матрицы микрозрачков, каждый из которых соответствует изображению главного зеркала телескопа, освещаемого соответствующим элементом изображения объекта. Используется в двух режимах наблюдений - классической (TIGER) и в комбинации с эталоном Фабри-Перо (PYTHEAS).

2.2.1 Принцип работы

Микрообъективы (увеличители), расположенные на турели T_2, формируют увеличенное изображение объекта в плоскости F'', в которой расположена упорядоченная прямоугольная матрица квадратных микролинз (растр). Каждая микролинза совместно с увеличителем формирует изображение главного зеркала (микрозрачок), освещенное элементом изображения, ограниченным размером микролинзы. Далее прямоугольная полученная матрица микрозрачков поступает на вход светосильного полевого спектрографа. Размер каждой микролинзы равен 3 *мм*, а фокусное расстояние - 17 *мм*. Диаметр микрозрачка на входе спектрографа определяется из простого соотношения, которое показывает ограничение возможности использования мультизрачкового спектрографа на большом телескопе :

$$d_{pup} = D\frac{\Delta}{f}\Delta('')/206265, \tag{1}$$

где D - диаметр главного зеркала, Δ - линейный размер квадратной микролинзы а f - ее фокусное расстояние, $\Delta('')$ размер выделяемого на изображении квадратного элемента в *arcsec*. Последняя величина определяется выбранным значением увеличения изображения объекта в плоскости линзового растра. Например, для 6-метрового телескопа при $\Delta('')$=1 *arcsec* и Δ/f=6 (наш случай), размер микрозрачка на входе спектрографа равен 144 *мкм*.

Ясно, что спектральное разрешение, реализуемое далее в спектрографе, в таком режиме (TIGER) будет определятся только монохроматическим размером зрачка. При заданной светосиле камеры спектрографа и размере элемента разрешения приемника это накладывает ограничение на максимально возможный размер элемента разрешения. Именно этим обстоятельством и определяется использование мультизрачкового в режимах TIGER и PYTHEAS.

Турель T_2 микрообъективов имеет 4 позиции, в которых расположены микрообъективы, дающие увеличения $10^\times$, $20^\times$ и $30^\times$. В четвертой позиции расположен матовый экран, используемый для калибровки тракта плоским полем. В блоке (рис.1) также находится турель T_3, в которой имеется 4 позиции для установки порядкоразделительных фильтров стандартного размера 40×40 *мм*.

Между турелью фильтров и растром может быть установлен вводимый в пучок эталон Фабри-Перо (E.F.P. на рис.1) фирмы Queensgate, который используется в режиме работы PYTHEAS. В этом случае в плоскости микрозрачков формируются система микроинтерференционных колец, центры который совпадают с центром каждого микрозрачка, а монохроматическая яркость их модулирована спектральным пропусканием используемого эталона. Для выполнения условия телецентризма перед эталоном следует устанавливать плосковыпуклую линзу с фокусным расстоянием 220 *мм*. Ясно, что в этом случае спектральное разрешение, реализованное далее в спектрографе, в отличие от режима TIGER будет определяться спектральным разрешением эталона Фабри-Перо.

Микролинзовый растр установлен во вращающейся вокруг оси оправе и может быть выведена дистанционно из пучка. Последнее реализуется только при использовании спектрографа с линзовой камерой для получения увеличенного изображения в нулевом порядке или для целей юстировки. Поверхность растра, обращенная к микрообъективу - выпуклая, и играет роль полевой линзы, необходимой для выполнения условия телецентризма.

2.2.2 Параметры блока

- используемые увеличения микробъективов - $10^\times$, $20^\times$ и $30^\times$;
- микролинзовый растр 12×16 элементов;
- угловые размеры микролинз для разных увеличений - 1.3, 0.65 и 0.45 *arcsec*;

- эталон Фабри-Перо - 305 порядок для $\lambda 5000 \mathring{A}$;
- порядкоразделительные фильтры СЗС-23, ОС-14, КС-18;
- пропускание блока $\approx 40\%$ в диапазоне $3500 \div 7000$ Å.

2.3 Спектрограф

В отличие от первого варианта MPFS, работавшего на БТА в 1989-1993 гг (Афанасьев и др., 1990), и в котором применялась линзовая оптика с большими хроматическими и полевыми абберации, в описываемом спектрографе мы используем специально рассчитаную для целей широкоугольной полевой спектроскопии оптическую схему, изготовленную в Оптических мастерских САО РАН.

2.3.1 Коллиматор и камера

Спектрограф состоит из 2-х компонентного апохромата F/3.3 с фокусным расстоянием 407 *мм* и камеры Шмидта F/0.9 с внутренним фокусом и фокусным расстоянием 110 *мм* (рис.1). В фокальной плоскости коллиматора установлена плосковыпуклая полевая линза для формирования выходного зрачка (не показана на рис.1). Перед фокальной плоскостью камеры установлена полеспрямляющая линза и плоско-параллельная пластина из кварца (входное окно криостата) толщиной 2 *мм* (не показана на рис.1). На оптические поверхности нанесено просветляющее покрытие MgF_2.

Абберации такой оптической схемы рассчитаны из минимума полевых и хроматических абберацих для применяемых типов стекол. Выходной зрачок спектрографа находится на рассстоянии 150 *мм* от задней поверхности коллиматора. Расчетные абберации спектрографа (всего оптический тракта - полевой линзы, коллиматора, камеры, полеспрямляющей линзы и окна криостата) для различных длин волн и углов поля зрения показаны на рис.4. Реальные абберации системы могут быть несколько больше, что определяется ошибками изготовления и юстировки. Тем не менее, как показывает опыт, размер кружка рассеяния в спектрографе не превышает 50 *мкм* во всем спектральном диапазоне, а вторичный спектр 0.4 *мм* (приведено для фокальной плоскости коллиматора).

Пропускание оптики спектрографа определяется толщиной стекол и потерями на отражение. В диапазоне длин волн ($4000 \div 9000$ Å) пропускание спектрографа более 60%. В коротковолновой области спектра (3500 Å) пропускание снижается до 30%.

Рис. 4: Точечная диаграмма MPFS в фокальной плоскости камеры.

2.3.2 Дифракционные решетки

В спектрографе используется набор дифракционных решеток с размером заштрихованной поверхности 150×100 *мм*, установленных в стандартных оправах, совместимых с оправами решеток спектрографа UAGS. Набор решеток реализует обратные линейные дисперсии в пределах 0.8÷6.5 Å в видимом диапазоне. Сведения о применяемых решетках приведены в таблице 1, а кривые

Таблица 1: Параметры дифракционных решеток MPFS

номер решетки	число штр/мм	угол блеска град.	рабочий порядок	дл. волны максимума концентр. Å,	эффект. в макс. концентр. %	рабочий диапазон Å	увелич. Г	дисп. Å/эл.
1	300	3.1	I	3500	65	3000-4500	1.05	4.9
2	300	4.7	I	4500	67	3700-6300	1.07	4.9
3	300	5.8	I	6000	75	4500-9000	1.1	4.9
2199	650	7.9	I	4400	71	3500-7000	1.12	2.2
4	600	10.2	I	5500	70	4000-7800	1.15	2.4
5	600	12.1	I	6500	72	4700-9000	1.18	2.5
6	600	20.1	I	8500	70	8500-12000	1.32	1.3
			II	5200	60	4800-6200	1.32	1.3
7	600	39.1	III	7000	40	6400-8000	1.94	0.9
8	1200	17.7	I	5000	65	3700-7000	1.3	1.3
9	1200	24.3	I	6000	60	4500-9500	1.4	1.4
10	1200	30.5	I	9000	60	7500-12000	1.56	1.0

концентрации энергии для значения угла между падающим и дифрагированным пучком равным 40° на рис.5. Значения дисперсии в последней колонке таблица приведено для элемента 18 *мкм*.

Рис. 5: Кривые концентрации дифракционных решеток MPFS

Здесь мы не приводим данных для дифракционных решеток из комплекта спектрографа UAGS, которые также могут быть использованы при наблюдениях с мультизрачковым спектрографом - сведения о них можно найти в описании Светосильного спектрографа первичного фокуса БТА.

2.4 Твердотельный светоприемник

Для регистрации изображений спектров в спектрографе используется ПЗС-матрица типа ISD015A (изготовитель "Электрон", Санкт-Петербург). Матрица с полеспрямляющей линзой находится внутри камеры Шмидта в криостатированом объеме. Криостат с жидким азотом, обеспечивающий работу матрицы ПЗС во внутреннем фокусе камеры Шмидта, изготовлен во ВНИИ телевидения. Система регистрации, обеспечивающая работу ПЗС с персональным компьютером PC/AT разработана в лаборатории Перспективных разработок САО РАН. Параметры прибора, который сопоставим с подобными системами, работающими на БТА, следующие :

- размер элемента разрешения - 18×24 *мкм*;
- число элементов - 530×580;
- величина кванта преобразования (ADU) 3.3, 7, 15 e^-;
- шум считывания ≈ 12 e^-;
- глубина потенциальной ямы - $\approx 100\ 000$ e^-;
- диапазон значений оцифрованного сигнала 0 - 8191;
- скорость счета космических частиц 3–4 за мин.;
- рабочая температура -110°C;
- расход жидкого азота 2 литра/сутки;
- время непрерывной работы криостата без дозаправки 24 часа.

Спектральная чувствительность приемника согласно данным изготовителя приведена на рис.6.

Положение матрицы внутри камеры фиксируется относительно зеркала при помощи кварцевых стержней. Термостабильность такой конструкции достаточно высокая и не требует перефокусировки камеры при изменении температур.

Рис. 6: Спектральная чувствительность приемника

2.5 Дистанционное управление

Управление спектрографом - поворот решетки, открытие затвора и включение спектра сравнения, ввод/вывод мультизрачкового блока - может существляется как в стакане, при помощи кнопок, расположенных непосредственно на спектрографе, так и дистанционно, с пульта СПЕКТРОГРАФ, расположенного в аппаратной БТА. Для дистанционного отсчета угла решетки необходимо подключать к клеммам "внешнее измерение " цифровой вольтметр. Калибровка отсчетов углов поворота для решеток с различным числом штрихов показана в таблице 2. В первой колонке таблицы приведены углы поворота по отсчетной шкале спектрографа, во второй - отсчеты цифрового вольтметра, а в последующих - длины волн в Å, соответствующие центру поля зрения камеры и мультизрачкового блока. Отсчет угла, соответствующий нулевому порядку приблизительно равен 9.8. Его значение для каждой решетки уточняется во время наблюдений.

На пульте управления СПЕКТРОГРАФ находится также регулировка яркости креста нитей, вводимого в изображение поля на TV-подсмотре объективом O_3 (см. рис.1).

Таблица 2: Калибровка отсчетов угла поворота решеток MPFS

угол град.	отсчет	300 (I)	325 (I)	600 (I)	600 (II)	600 (III)	650 (I)	650 (II)	1200 (I)	1300 (I)
30.5	9.054	3329	3072							
31	8.918	3933	3631							
32	8.647	5144	4748							
33	8.324	6585	6078							
34	8.060	7762	7165	3072						
35	7.768	9064	8367	3584			3308			
36	7.476		9569	4104			3788			
37	7.174			4637			4280			
38	6.870			5174			4776			
40	6.293			6192			5716			
42	5.429			7718			7124		3859	3562
45	4.853			8736	4368		8064		4368	4032
50	3.380				5668				5668	5232
55	1.911				6967			6867	6967	6431
60	0.469				8237	5491		8137	8237	7604
61	0.155				8516	5677		8416	8516	7861

2.6 Параметры спектрографа

- фокусное расстояние коллиматора F=407 *мм*, светосила F/3.3;
- фокусное расстояние камеры Шмидта F=110 *мм*, светосила F/0.9;
- диаметр выходного зрачка 102 *мм*, расстояние от последней поверхности коллиматора 150 *мм*;
- просветление оптических поверхностей MgF_2;
- рабочий спектральный диапазон 3500÷9500 ÅÅ;
- поле зрения камеры $\omega = \pm 5°$, или ±10 *мм* в плоскости светоприемника;
- светоприемник - ПЗС матрица 530×580 элементов, помещенная в криостатированный объем внутри камеры;
- угол между падающим и дифрагированным пучком 40°;
- реализуемый набор дисперсий 0.9÷6.5 Å/эл.;
- время срабатывания затвора ≈ 3 сек.;

3 Подготовка к наблюдениям

Подготовка к наблюдениям заключается в проверке в лаборатории работоспособности отдельных узлов прибора: платформы, спектрографа, приемника, в подключении и проверке дистанционного управления, установке телеподсмотра, проверки юстировки платформы и мультизрачкового блока, выполнении пробных накоплений и фокусировки спектрографа. Может оказаться необходимой откачка криостата, хотя эта процедура выполняется не чаще одного раза в несколько месяцев.

3.1 Проверка юстировки платформы

Правильная юстировка платформы предполагает совмещение трех плоскостей: фокальной плоскости телескопа (F' на рис.1), плоскости проектируемого на телеподсмотр креста нитей и выходных торцов световодов гидирования. Юстировка проводится относительно креста нитей в такой последовательности. Сначала фокусируется изображение креста нитей на фотокатоде телепосмотра. Затем перед платформой устанавливается искусственная звезда, изображение которой фокусируется на телепосмотре при режиме работы платформы НАВЕДЕНИЕ. Установив режим платформы ГИДИРОВАНИЕ, проверяем фокусировку изображения искуственной звезды на каждом из световодов, для чего необходимо смещать проектор искуственной звезды в плоскости, перпендикулярной оси платформы. При наличии расфокусировки изображений необходимо подправить положение световодов в оправах, смещая их вдоль оптической оси.

В отъюстированной таким образом платформе фокальная плоскость находится на фиксированном расстоянии от посадочного места, на которое устанавливается спектрограф. Устанавливаемый на платформу прибор фокусируется относительно этой плоскости. После установки платформы в СПФ необходимо проверить качество юстировки, последовательно фокусируя визуально изображение звезды в режиме НАВЕДЕНИЕ и ГИДИРОВАНИЕ, и сравнивая значения фокуса телескопа с правильным положением фокуса на входе мультизрачкового блока. Удовлетворительной считается разница фокусов не более 0.4 *мм*. При этом можно контролировать в процессе накопления правильную фокусировку системы по изображениям гидирующих звед.

3.2 Фокусировка спектрографа

Фокусировка спектрографа предполагает совмещение положения фокальной плоскости микрообъектива мультизрачкового блока с фокальной плоскостью телескопа и фокусировку оптики спектрографа.

Первая процедура может быть выполнена как в лаборатории, так и на телескопе и проводится не чаще раза в полугодие. Для получения правильного положения микрообъектива проектируем на вход спектрографа изображение звезды. Затем проверяем отсчет фокуса для изображения звезд в полях гидирования и увеличенного изображения звезды на входе микролинзового растра. Последнее изображение получаем на матрице ПЗС в нулевом порядке. При наличии разницы фокусов турель микрообъективов двигается вдоль оптической оси при помощи кремальеры до получения нужного отсчета фокуса. Далее эта процедура повторяется для каждого микрообъектива.

При фокусировке оптики спектрографа предполагается, что камера Шмидта отфокусирована на бесконечность и наклоны плоскостей отсутствуют. Ввиду сложности процедуры фокусировки камеры, мы ее здесь не описываем. Фокусировка изображений спектров на ПЗС осуществляется движением коллиматора (вращением его в резьбе оправы). Положение коллиматора отсчитывается по шкале, нанесенной на оправе, а число оборотов - по линейке. Цена деления шкалы на оправе - 0.05 *мм*, шкалы на линейке - 1 *мм*. Для фокусировки следует получить серию 7÷10 фокусировочных накоплений спектра сравнения с шагом 0.3÷0.2 *мм*. При проведении фокусировки необходимо ввести диагональное зеркало (режим НАВЕДЕНИЕ), включить спектр сравнения и открыть люк в боковой стенке спектрографа для измерения положения фокуса коллиматора. Далее измеряются полуширины линии в центре и по углам изображения.Анализ полуширин линий на изображении делается программой FVIZ.EXE. Положение фокуса выбирается по изображению с наименьшими средними значениями полуширины линий. Так как на реальных изображения есть деградация разрешения по полю, наилучший фокус определяется для участков изображения на 1/2 расстояния от центра поля зрения. При фокусировке изображения рекомендуется пользоваться смешанным (линейчатый+непрерывный) источником спектра сравнения. При этом контролируется одновременно ширина линий вдоль дисперсии и ширина ниток спектра.

Накопления изображений выполняются с помощи программ CCDST.EXE и CCDW.EXE или в оболочке CCDO.EXE. Эти программы описаны ниже в разделе, посвященном выполнению процесса наблюдений. Измерению параметров линий спектра сравнения по полю осуществляется при помощи программы FVIZ.EXE, описание которой приведено приведено в конце настоящего руководства.

3.3 Выбор режима работы, формирование куба данных

Настройка спектрографа с целью выбора размера куба данных проводится, как правило, в начале сета наблюдений, а смену направления дисперсии можно делать в течении ночи наблюдений с АП. На рис.1 показан принцип формирования куба данных в мультизрачковом спектрографе. Увеличенное изображение объекта **A** дискретизуется на матрицу $N \times M$ прямоугольных элементов линзовым растром и на выходе растра преобразуется в матрицу микрозрачков **B**. На выходе камеры образуется NM спектров от элементов изображения, при этом спектры расположены на формате ПЗС последовательно и центральная длина волны в спектрах, соответствующих строкам входной матрицы (направление дисперсии), смещается от спектра к спектру (**C**). Величина этого смещения равна расстоянию между монохроматическими изображениями микрозрачков в строке входной матрицы, вдоль которой расположено направление дисперсии спектрографа. Для получения раздельного изображения спектров от отдельных элементов изображения необходимо повернуть линзовый растр на угол равный $arctg(1/N)$. Количество одновременно регистрируемых спектров будет определяться форматом используемого приемника и шириной нитки спектра поперек дисперсии. Ширина нитки определяется монохроматическим размером микрозрачка и разрешением оптики спектрографа.

Число элементов в спектре, одновременно регистрируемых от всех элементов изображения, равно разнице между числом элементов ПЗС вдоль дисперсии и монохроматическим размером (в элементах разрешения) матрицы микрозрачков в направлении дисперсии. Спектрограф MPFS дает возможность использовать разные исходные размеры растра, что в комбинации с использованием матрицы ПЗС прямоугольных размеров и дифракционных решеток с различными углами блеска дает возможность получать различные кубы данных при наблюдениях.

3.3.1 Режим TIGER

В этом режиме, как уже отмечалось, спектральное разрешение ограничено монохроматическим размером микрозрачка. Матрица ПЗС может быть использована в двух вариантах (это зависит от способа установки камеры на спектрографе). В первом случае дисперсия направлена вдоль короткой стороны матрицы с размером элемента 18 *мкм* (short-mode), а втором случае - вдоль длинной стороны с размером элемента 24 *мкм* (long-mode). Монохроматический размер микрозрачка в фокальной плоскости матрицы определяется соотношением

$$d_\lambda = d_{pup} F_{cam}/(F_{col}\Gamma), \qquad (2)$$

где d_{pup} - диаметр микрозрачка на входе, определяемый соотношением (1), F_{cam} и F_{col} - фокусные расстояния коллиматора и камеры, а Γ - угловое увеличение дифракционной решетки (приводится в предпоследней колонке таблицы 2). В таблице 3 приведены рекомендуемые варианты работы со спектрографом при использовании микрообъектива $10^\times$ (масштаб 1.3 *arcsec/эл.*). Поле зрения спектрографа при этом составляет 13×15 *arcsec* или 16×20 *arcsec*. В четвертой колонке таблицы приводится среднее расстояние между спектрами в направлении поперек дисперсии. Нужно иметь ввиду, что из-за ошибок изготовления линзового растра, спектры расположены на формате ПЗС в направлении перпендикулярно дисперсии неравномерно. Приводимое в последней колонке таблицы спектральное разрешение определяется монохроматическим размером микрозрачка, который при данном увеличении составляет 220 *мкм*.

Таблица 3: Рекомендуемые варианты использования MPFS

куб данных $(x \times y \times \lambda)$	номер решетки	направление дисперсии	Δy элем.	дисперсия Å/эл.	разрешение Å
10×16×290	#7	short	3.4	0.91	1.6
10×16×220	#6,#8	short	3.4	1.25	3
10×12×320	#6,#8	long	4.5	1.67	4
10×16×150	#5	short	3.4	2.4	6.8
10×12×190	#5	long	4.5	3.2	9
10×12×270	#2,#3	long	4.5	6.5	15

Использование микрообъектива $20^{\times}$ позволяет улучшить спектральное разрешение на малых дисперсиях почти в два раза и увеличить масштаб изображения на линзовом растре до 0.7 $arcsec$/эл. Такой вариант работы следует применять лишь при качестве изображения порядка 1 $arcsec$. Если используются с другие форматы линзового растра и ориентации камеры спектрографа, размер куба данных может быть найден с использованием соотношений (1) и (2) и данных таблицы 1. Следует отметить, что работа с полным форматом мультизрачкового блока предъявляет весьма жесткие требования к качеству фокусировки оптики спектрографа и осложняет обработку данных (из-за трудности разделения спектров поперек дисперсии).

3.3.2 Режим PYTHEAS

Использование комбинации мультизрачкового спектрографа и эталона Фабри-Перо впервые предложено Жоржелином (Ле Коарер и др., 1992) и позволяет достичь разрешения $\lambda/\delta\lambda \approx 10^4$ в задачах 2D-спектроскопии. В этом случае, при установке эталона перед линзовым растром на входе спектрографа матрица микрозрачков модулирована пропусканием эталона, и изображение спектра от отдельного элемента представляет собой последовательность монохроматических изображений микрозрачков, соответствующих различным порядкам эталона. Расстояние между центрами изображений микрозрачков вдоль дисперсии равно λ/p, где p - порядок эталона для соответствующей длины волны λ. Спектральный диапазон, одновременно регистрируемый в этом случае, будет определяться вариантом использования спектрографа (см. таблицу 3), а спектральное разрешение - разрешением эталона. Если $\mathcal{F}$ - добротность эталона, то перестраивая порядок эталона, можно построить куб данных , имеющий в $\mathcal{F}$ раз большее разрешение по длинам волн, по сравнению с кубом данных, получаемым в режиме TIGER. В этом случае мы получаем последовательность изображений спектров, модулированных по длине волны, и проведя обработку каждого изображения стандартным образом, и можно в результате получить куб данных с большим числом элементов по λ с разрешением, определяемым эталоном. Регистрируемый таким образом спектральный диапазон будет определяться данными таблицы 3 и существенно превышать диапазон, доступный при использовании эталоны обычным образом. Используя имеющийся в нашем распоряжении эталон фирмы Queensgate, работающий в 305-ом порядке на λ 5000 Å с $\mathcal{F}\approx$24, можно получить куб данных 10×12×7680 элементов со спектральным разрешением $\approx$ 0.6 Å. Реальное использование спектрографа в этом режиме возможно только при наблюдениях ярких объектов из-за большого шума считывания матрицы. При наблюдениях более слабых объектов рекомендуется смена системы регистрации - установка другой камеры в спектрографе и использование счетчика фотонов КН-11 в составе системы КВАНТ. Методика работы с эталоном приводится в описании интерферометра Фабри-Перо БТА.

3.4 Состав оборудования аппаратной БТА

При наблюдениях с мультизрачковым спектрографом используется стандартное оборудование (линии связи, компьютеры) аппартной БТА. Для нормальной работы в течении ночи необходимы :

- компьютер PC/AT 386 с оперативной памятью не менее 4 Мб и свободным дисковым пространством не менее 100 Мб с установленным интерфейсом управления ПЗС;
- компьютер PC/AT 386/486 с оперативной памятью 4-8 Мб и максимальным свободным дисковым пространством с подключенным внешним накопителем (оптическим диском или стриммером);
- сетевые платы ETHERNET для информационной связи между компьютерами;
- крейт КАМАК с блоками управления спектрографом.

На первом компьютере производится управление процессом наблюдений, а на втором осуществляется экспресс-анализ данных в течении ночи и их архивизация. При работе в режиме PYTHEAS требуется дополнительный компьютер PC/AT в минимальной конфигурации, соединенный сетью с первыми двумя, который используется для управления эталоном Фабри-Перо.

4 Проведение наблюдений

4.1 Установка в первичном фокусе БТА

Платформа со спектрографом (без камеры Шмидта и телеподсмотра) устанавливается на поворотный стол в стакане первичного фокуса (СПФ) при помощи кран-балки БТА, после чего в СПФ устанавливаются рама для крепления и крейт КАМАК. После установки спектрографа на него устанавливается камера с криостатом, телеподсмотр и блок дистанционного управления платформой. Для балансировки спектрографа по позиционному углу на спектрограф устанавливается противовес. Вес платформы со спектрографом составляет около 120 *кГ*. Для нормальной работы системы автобалансировки необходимо устанавливать контгруз, что выполняется дежурным механиком. Выполнение коммутации кабелей в СПФ и аппаратной выполняется ответственным инженером.

При использовании в спектрографе эталона Фабри-Перо в СПФ дополнительно устанавливается блок управления эталоном.

Работа крейта КАМАК допускается только при подсоединенном и охлажденном криостате !!! Подключение кабелей питания и управления следует делать таким образом, чтобы они не мешали вращению спектрографа. После завершения процедуры подключения следует проверить дистанционную работу спектрографа и платформы : управление затвором, диагональным зеркалом, движением полей гидирования и источником спектра сравнения, вращение платформы по углу, наличие телевизионного сигнала с подсмотровой трубки и возможность дистанционного управления высоким напряжением телеподсмотра. Далее, в соответствие с выбранным в лаборатории режимом работы, на спектрографе устанавливается дифракционная решетка, выбирается микрообъектив и устанавливается необходимое положение в турели светофильтров. Для выполнения этих процедур необходимо открыть соответствующие крышки в стенках спектрографа. **При установке дифракционной решетки соблюдать особую осторожность, чтобы не повредить заштрихованную поверхность**. После этого необходимо выполнить накопления калибровочного спектра для проверки работоспособности системы регистрации.

Все процедуры в СПФ при включенном освещении нужно выполнять только после предварительного отключения питания на телевизионной трубке !

Перед началом наблюдений в кабине СПФ необходимо выполнить следующие действия :

- залить азот в криостат матрицы;
- погасить свет в кабине;
- включить питание на телевизионной трубке, убедившись в том, что регулятор дистанционного управления установлен в нулевой положение.

4.2 Наведение и выбор звезд гидирования

При наблюдениях с мультизрачковым спектрографом линзовый корректор должен быть выведен!

Значение отсчета фокуса телескопа во время наблюдений должно находиться вблизи 70 *мм*. После наведения телескопа по координатам выбранного объекта следует включить режим НАВЕДЕНИЕ на пульте управления ПЛАТФОРМА (клавиша **mirror** отжата). После этого необходимо поднять высокое напряжение на телеподсмотре. **Не рекомендуется перенаведение телескопа при включенном высоком напряжении на телеподсмотре !**. По ярким звездам поля необходимо визульно отфокусировать телескоп и отождествить область. Опыт показывает, что в безлунную ночь при качестве изображения лучше 2 *arcsec* на экране монитора телеподсмотра уверенно видны звезды слабее V=20^m. При поле зрения платформы в режиме наведения около $2'$ этого достаточно для быстрого отождествления области. Далее предполагается, что на экране монитора отмечено положение формата мультизрачкового растра (это, как правило, делается в начале каждого сета наблюдений). Установив исследуемый объект в центр формата и повернув, вращая стола СПФ БТА (кнопки управления находятся на пульте управления БТА в аппаратной), спектрограф для получения необходимой ориентации, приступаем к поиску звезд гидирования.

Поиск звезд гидирования можно осуществлять как вслепую - последовательно сканируя поля А и В, так и используя приготовленные, в соответствии с рис.2, палетки. В последнем случае, сориентировав должным образом карточку отождествления (**изображение на экране монитора зеркальное**), и наложив на нее палетку, определяем координаты полей А и В. Опыт показывает, что при аккуратной работе и некотором напряжении воображения, поиск звезд можно осуществлять достаточно быстро. Найденные таким образом звезды должны быть достаточно яркими (ярче 17^m в V) для уверенного гидирования при включенной подсветке креста нитей, яркость которого регулируется на пульте СПЕКТРОГРАФ.

4.3 Контроль установки объекта и фокусировка

Точная установка исследуемого объекта в центре растра достаточно трудоемкая операция при наблюдениях с MPFS. Ее важно выполнять с особой тщательностью при работе с малыми полями зрения (например, при работе с объективом $20^\times$, когда размер поля зрения не превышает $7\times10''$). В отличие от первого варианта спектрографа, где регистрация велась на счетчике фотонов и была возможность непосредственно видеть изображение объекта в формате растра, в нашем случае, из-за использования зеркально-линзовой камеры, мы не имеем возможности видеть увеличенное изображение объекта на ПЗС при выведенном линзовом блоке.

Методика контроля установки объекта на центр растра заключается в следующем :

- решетка поворачивается в положение, соответствующее нулевому порядку;
- производится накопление калибровочного спектра и определяются координаты углов полученной матрицы микрозрачков;
- делается короткая (1-2 мин) экспозиция объекта, установленного на центр формата и по полученной матрице микрозрачков формируется изображения объекта на входе растра.

Для проведения указанных операций используется программа INTZORD.EXE. Входными параметрами программы являются : координаты углов матрицы микрозрачков (верхний левый, верхний правый и нижний левый), используемый формат растра (число элементов по x и y координатам) и размер окна интегрирования в элементах. При этом принято соглашение, что ось x направлена на экране монитора слева направо, а ось y - сверху вниз. При наблюдениях с достаточно ярким фоном неба можно для определения координат углов матрицы пользоваться только накоплением объекта. На рис.7 демонстрируется вид объекта (галактика Mkn 573) на экране монитора телеподсмотра, отмечены положения растра и результат работы программы INTZORD.EXE.

Приведенная методика используется также при наведении на предельно слабые объекты, не видимые на экране монитора телеподсмотра. В этом случае предполагается, что в исследуемом поле известны точные координаты ближайших к объекту звезд и координаты объекта. Наведя последовательно телескоп на опорные звезды, установив их в центр формата и записав координаты обратного пересчета, мы можем в конечном итоге вычислить координаты обратного пересчета объекта. Опыт показывает, что при расстояниииях опорных звезд от объекта не более $10'$, установка объекта на центр формата может быть выполнена с точностью не хуже $1''$.

В начале сета наблюдений рекомендуется уточнить разницы отсчета фокуса телескопа при работе платформы в режимах НАВЕДЕНИЕ и ГИДИРОВАНИЕ, и отсчет фокуса, соответствующий сфокусированному изображению на входе линзового растра. Последнее определяется путем сравнения последовательных экспозиций достаточно яркой звезды, установленной в центр формата, при различных значениях фокуса телескопа. После получения фокусировочных экпозиций, обработав изображения программами INTZORD.EXE и FVIZ.EXE, выбираем значение фокуса, соответствующее изображению с наименьшей полушириной. Дальнейшая корректировка фокуса телескопа в течении ночи проводится по изображениям звезд гидирования с учетом определенной разница фокуса.

Рис. 7: Пример контроля установки форматов растра на изображении объекта

4.4 Определение позиционного угла растра

При наблюдениях протяженных объектов важно знать не только положение формата растра на изображении объекта, но и его ориентацию. Спектрограф установлен на поворотном столе СПФ и имеет свой позиционный круг. Последний не имеет дистанционного отсчета. Истинный позиционный угол формата растра на небесной сфере равен сумме трех углов : угла поворота стола P_{cm}, вычисляемого параллактического угла P_2 и угла поворота спектрографа относительно стола P_{mpfs}. Если первые два угла индицируются на экране монитора АСУ БТА, то последний может изменяться от сета к сету, в зависимости от установки спектрографа на поворотном столе.

Для определения значения P_{mpfs} необходимо получить изображение двойной звезды с расстоянием между компонентами 6-10 *arcsec*. При этом желательно подбирать звезды с заметной разницей яркости, для уверенного определения знака позиционного угла. После определения положений компонент на растре и проведения афинного преобразования, уточняем значение P_{mpfs}.

4.5 Калибровка

Калибровка спектрографа предусматривает проведение следующих процедур:

- калибровка шкалы длин волн;
- калибровка пропусканий элементов линзового растра;
- калибровка неоднородности чувствительности ПСЗ матрицы;
- калибровка спектральной чувствительности.

Калибровка шкалы длин волн производится при помощи спектральной лампы с наполнением Ar-Ne-He. Для получения экспозиции спектра сравнения необходимо ввести на платформе диагональное зеркало (режим НАВЕДЕНИЕ, клавиша **mirror** отжата) и включить тумблер **спектр сравнения** на пульте СПЕКТРОГРАФ. После этого производится накопление 10-20 сек. Необходимо отметить, что калибровка угла решетки, приведенная в таблице 3 приблизительная. После установки выбранной решетки рекомендуется уточнять калибровку шкалы, делая пробные накопления спектра сравнения и определяя центральную (соответствующую центру поля ПСЗ и линзового растра) длину волны. Для выбора люфта механизма поворота решетки следует устаналивать необходимые отсчеты, двигая решетку всегда в одном направлении (например, в сторону увеличения длин волн). В этом случае можно достичь точности установки решетки 10-15 Åпри работе с дисперсией 2-3 Å/эл. Атлас линий спектра сравнения используемой лампы СГЗС с наполнением Ar-Ne-He приводится в Приложении.

Калибровка пропусканий элементов линзового растра может быть сделана несколькими способами - получением накоплений источника непрерывного спектра через канал спектра сравнения, получением накоплений кварцевой лампы, установленной в фокусе Н2 (в этом случае следует открыть крышки диагонального зеркала) и получением накоплений сумеречного (вечернего или утреннего) неба. Первый способ может быть реализован в течении наблюдений, однако не дает необходимой точности, из-за нарушения условия телецентризма в тракту спектра сравнения. Последний способ наиболее точный, однако требует работы с одной и той же решеткой в течении ночи. При частой смене решеток рекомендуется применять второй способ, дающий необходимую точность, но требующий дополнительных движений наблюдателя в течении ночи.

Калибровка неоднородности чувствительности ПЗС осуществляется по накоплениям спектральных изображений матового белого экрана, нанесенного на сторону шторки затвора, которая обращена к коллиматору. Экран освещается лампой накаливания, размещенной после коллиматора. Затвор при этом необходимо закрыть. Управление длительностью засветки производится от компьютера в оболочке CCDO.EXE. Для достижения хорошего качества при коррекции неоднородностей ПСЗ рекомендуется выполнять 10-15 спектральных накоплений со средним уровнем отсчетов, близким к средней яркости спектров. При дальнейшей обработке следует использовать среднее, полученное из этих изображений.

Для калибровки спектральной чувствительности и абсолютной привязки в течении ночи следует получать накопления стандарных звезд.

4.6 Последовательность выполнения накоплений

Последовательность выполнения накоплений (калибровок, исследуемых объектов и стандартных звезд) в течении ночи определяется требованиями программы наблюдений. При получении накоплений объекта необходимо получать покрайней мере два накопления с одинаковыми экспозициями - это нужно для нормальной работы программы подавления космических частиц на каждом кадре. Спектр сравнения следует записывать до и после накопления спектра объекта. При наблюдениях протяженных объектов больших размеров может возникнуть необходимость получения спектра ночного неба, который затем будет вычитаться из записи объекта (например, это нужно при исследовании эквивалентных ширин линий погложения в центральных частях галактик). Для получения записи неба следует смесить телескоп на 30-50 $arcsec$ по координатам α и δ, не смещая поле гидирования. После этого можно вернуть телескоп в исходные координаты и продолжить накопление объекта.

Кроме получения калибровочных записей, в течении ночи требуется запись темновых кадров с нулевой экспозицией (BIAS) и темновых кадров (DARK) с экспозицией, близкой к средней экспозиции объекта. Записи BIAS рекомендуется производить достаточно часто, так как их дальнейший анализ дает представление о стабильности работы системы регистрации в течении ночи. Записи DARK можно делать в начале и в конце ночи наблюдений, уточняя затем при обработке уровень темнового шума по уровню сигнала в неосвещенных частях формата ПЗС. Калибровку неоднородности пропускания элементов линзового растра желательно проводить при каждом перенаведении телескопа.

Калибровка спектральной чувствительности и неоднородности чувствительности ПЗС, как правило, проводится в начале и в конце ночи наблюдений. При проведении наблюдений, требующих хорошей абсолютной привязки, записи стандарных звезд следует получать на близких к исследуемому объекту зенитных расстояниях до или после накопления объекта.

4.7 Программы для накоплений с ПЗС

Для выполнения спектральных наблюдений с матрицей ПЗС используется математическое обеспечение, разработанное на основе программ, предоставленных разработчиками системы (Лаборатория перспективных разработок САО РАН).

Все работы с матрицей ПЗС выполняются на ПК IBM PC AT/386 в операционной системе MS-DOS.

Перед началом работы необходимо выполнить загрузку программы управления в локальную ЭВМ, находящуюся в крейте КАМАК, запустив пакет LOAD.BAT из справочника, содержащего математическое обеспечение для работы с ПЗС. Как правило, он находится на диске D: под именем CCD.

Для запуска накопления из командной строки следует выполнить команду вида :

CCDST 600,

где **600** - полное время время экспозиции в секундах. При этом после 2-сек очистки начнется экспозиция и следует открыть затвор на платформе. Во время очистки и считывания сигнала с матрицы затвор должен быть закрыт!

Для того, чтобы контролировать текущее время экспозиции и сосчитать накопленный сигнал, необходимо выполнить команду :

CCDW IMAGE.DAT,

где **IMAGE.DAT** - имя файла, в который будет записано изображение. Время считывания матрицы составляет около 30 секунд. Это имя может содержать и имя пути, например,

E : \DATA\M573OBJ.DAT.

Отметим, что при неоходимости программу CCDW.EXE можно покинуть нажатием клавиши «Esc» (Например, если требуется выполнение на компьютере других операций во время накопления). В этом случае программный контроль за временем экспозиции отсутствует и наблюдатель сам должен следить за ним. Для прекращения экспозиции достаточно повторить запуск программы CCDW.EXE, как было указано выше.

Для просмотра результатов накопления следует пользоваться программой FVIZ.EXE, запустив ее командой :

FVIZ IMAGE.DAT.

Типичный вид накопления в программе FVIZ.EXE показан на рис.8

На рисунке представлен результат накопления, после чистки космических частиц, центральной части галактики Mkn 573 в области линии [OIII] 5007/4959 Å, регистрируемый куб данных $10\times16\times240$ элементов, дискретизация по изображению объекта 1.28 $arcsec$, по спектру - 1.17 Å. Направление дисперсии - справа налево. Слева на формате видны изображения линии ночного неба [OI] 5577 Å от краевых элементов линзового растра. Белые вертикальные полосы на изображении - дефектные столбцы ПЗС.

С целью упрощения работы наблюдателя во время наблюдений можно пользоваться программой-оболочкой CCDO.EXE, позволяющей запускать вышеописанные программы в необходимой последовательности. На рис.9 приведен вид экрана, выводимого этой программой в основном режиме. Используя стрелки, двигающие бар, пользователь выбирает требуемую функцию и нажатием «Enter» выполняет ее.

Рис. 8: Пример накопления, полученного с мультиобъектным спектрографом, представленное программой FVIZ.EXE

При запуске накопления с использованием оболочки CCDO.EXE наблюдателю предлагается также заполнить файл с рядом служебных параметров (именем объекта, координатами поля, спектральными характеристиками – спектральным диапазоном, разрешением и др.), которые далее могут далее переписаны в FITS-формате. При работе с оболочкой принята сплошная по ночи нумерация записываемых на диск файлов. Номер файла автоматически увеличивается при переходе к последующей экспозиции.

Функции оболочки полностью обеспечивают пользователя всем необходимым программным обеспечением во время наблюдений : от инициализации крейта КАМАК до просмотра полученных накоплений.

5 Запись и архивизация результатов

Все полученные накопления записываются на диск ПК в формате, принятом в существующей системе обработки данных. Этот формат состоит только из

Рис. 9: Вид экрана пользователя в оболочке управления CCDO

последовательности 16-разрядных чисел – отсчетов изображения, записанных построчно. Все изображения имеют размер 530 (эл/строка)$\times$ 580 (строк). Полная длина файла составляет 614 800 байт.

Согласно принятым соглашениям, при работе с программной оболочкой CCDO наблюдатель не может изменить расширения имен файлов. Все двоичные данные записываются в файлы с расширениями .CCD, а служебная текстовая информация в сопутствующий файл с расширением .DSV. При необходимости переноса наблюдательных данных для обработки в других системах возможна запись данных в стандарте FITS. Для этого используется следующая команда :

WFITS M573OBJ.CCD,

где параметр после имени программы обозначает имя файла с накоплением. При этом двоичные данные из M573OBJ.CCD и служебная информация из M573OBJ.DSV (если он был образован) будут записаны в FITS-файл с именем M573OBJ.FTS.

Пользователю предоставляются в конце ночи исходные данные, представленные в FITS-формате.

6 Последовательность обработки

Данный раздел раздел носит справочный характер и не является руководством по пользованию системой обработки данных, получаемых со спектрографом MPFS.

При описании последовательности выполнения обработки данных, полученных за ночь, будем полагать, что данные состоят из следующего набора накоплений :

- объектов (в дальнейшем обозначены как OBJ1, OBJ2 и т.д.);
- спектров сравнения (NEON1, NEON2, ...);
- лампы непрерывного спектра (QUARTZ1, QUARTZ2, ...);
- ночного неба (SKY1,SKY2, ...);
- сумеречного неба (DAYSKY1, DAYSKY2, ...);
- равномерной засветки (FLAT);
- темновых кадров с нулевой экспозицией (BIAS1, BIAS2, ...);
- темновых кадров с длительной экспозицией (DARK1, DARK2, ...).

6.1 Редукция исходных изображений

Редукция исходных изображений предполагает проведение следующих процедур:

- чистка космических частиц на каждой паре изображений при помощи программ COSPAR.EXE и COSMETIC.EXE;
- вычитание BIAS из каждого "почищенного" изображения ; рекомендутся изучить изменение BIAS в течении ночи и вычитать среднее значение с соответствующим коэффициентом;
- вычитание среднего изображения DARK из каждого изображения; эта процедура необходима для корректной редукции "горячих" точек на формате ПЗС;
- исправление неоднородности чувствительности путем деления каждой записи на среднее по ночи изображение равномерной засветки FLAT ;рекомендуется использовать отдельные записи FLAT для синего и красного спектрального диапазонов.

Для проведения арифметических операций с изображениями используется программа IMAR.EXE. Все процедуры, перечисленные в этом разделе могут быть выполнены в пакетном режиме для всех файлов, полученных в течении ночи.

6.2 Построение геометрии

Следующим этапом обработки является построение геометрической модели искажений изображения на формате ПЗС и определение соответствия между элементом растра (x, y) и положением его спектра на формате ПЗС. Описываемые далее процедуры предполагают обработку единичной записи спектра сравнения NEON и соответствующей ему записи объекта OBJ и делаются в такой последовательности :

- на изображении спектра сравнения NEON.DAT при помощи программы FVIZ в диалоговом режиме отмечаются положения линий , которые служат сеткой реперов, необходимых для построения модели геометрии; рекомендуется использовать сетку реперов имеющую 7-10 точек вдоль дисперсии, а в перпендикулярном направлении покрывающую все спектры в изображении; результат записывается в файл с расширением .REP;

- на том же спектре отмечаются положения определенной линии в каждом спектре; положения ниток отмечаются последовательно сверху вниз; результат записывается в файл с расширением .POS;

- при помощи программы GEOPREP.EXE проводится анализ файлов NEON.DAT, NEON.REP и NEON.POS, в результате чего формируется файл описания геометрической модели GEOMETRY.POL;

- для контроля построенной модели программой CREATSP.EXE формируется изображение стробов STROBE.DAT, по которым в дальнейшем будут выделяться спектры на изображении объекта; сравнивая изображения NEON.DAT и STROBE.DAT можно оперативно оценить качество построения геометрической модели.

Программа GEOPREP.EXE не учитывает вариции ширины ниток спектра сравнения по полю, обусловленные абберациями оптики спектрографа и неэффективностью переноса ПЗС, и используется, в основном, для экспресс-анализа. Более точное построение геометрической модели проводится программами PRFTEST.EXE и PRFTESTO.EXE, которые учитывают не только геометрические искажения, но и вариации функции рассеяния точки (PSF) по полю. Первая программа предназначена для построения геометрической модели по изображению спектра сравнения, а вторая - по изображению объекта.

6.3 Экстракция спектров из изображения

После построения геометрической модели из изображения объекта выделяются вектора спектров соответствующих элементов растра. Экстракция спектров может быть сделана двумя способами :

- программой SPEXTR.EXE, которая интегрирует изображение в стробе, имеющим прямоугольное сечение поперек дисперсии, и кривизна и координаты которого определяются построенной геометрической моделью GEOMETRY.POL; такой способ применяется, как правило, для экспресс-анализа;

- программой GAUEXT.EXE, в которой проводится интегрирование изображений спектров с учетом функции рассеяния поперек дисперсии; по-существу эта программа проводит перед интегрированием многокомпонентный гаусс-анализ изображения поперек дисперсии.

В результате выполнения процедуры экстракции спектров образуется файл с расширением .RES, который представляет собой куб данных, имеющий размерность N×M×K элементов, где N и M определяются выбранным форматом растра, а K - размером формата ПЗС в направлении дисперсии.

6.4 Линеаризация спектров

При выполнении линеаризации предполагается, что сформированы кубы данных с расширением .RES для каждого изображения (спектров сравнения, объектов, ночного и сумеречного неба, звезд сравнения и т.д.). Линеаризация проводится при помощи программы LINID.EXE в два этапа :

- вначале по спектру сравнения строятся дисперсионные кривые для каждого выделенного спектра; эта процедура может быть выполнена как в ручном, так и автоматическом режиме; успех последнего определяется качеством исходных данных;

- затем проводится линеаризация записи объекта с использованием построенных дисперсионных кривых, данные о которых записаны в файл DISPER.PAR.

В результате линеаризации спектров формируется куб данных размерностью N×M×L элементов, где дискретизация и число элементов L по длинам волн определяется при задании параметров программы LINID.EXE.

6.5 Формирование и анализ куба данных

Для формирования результирующих кубов данных, которые затем анализируются в соответствии с постановкой задачи, проводятся следующие процедуры :

- линеаризованные кубы данных исправляются за неоднородность пропускания линзового растра, которая принимается одинаковой для всех длин волн;

Рис. 10: Куб данных в линии [OIII] центральной части галактики Mkn 573, представленный программой CVIZ

- по линеаризованным кубам данных стандарных звезд определяются, путем интегрирования по всем элементам растра, кривые спектральной реакции системы;
- все записи исправляются при помощи соответствующих кривых реакции и приводятся к абсолютным единицам.

Описание последующей обработки полученных кубов данных - двухмерный гаусс-анализ спектров, построение карт интенсивностей в отдельных линиях и континууме, карт скоростей и т.п. - выходят за пределы данного описания. Отметим, лишь, что такой анализ проводится при помощи программ CVIZ и GAUSAN. Анализ кубов данных может также достаточно эффективно проводиться программами в облочке ADHOC, которая разработана в Марсельской обсерватории Ж.Буллестексом, и предназначена для анализа данных, получаемых с интерферометром Фабри-Перо. На рис.10 приводится пример окончательного вида куба данных для центральной части галактики Mkn 573 в области линии [OIII] 5007 Å, представленного программой CVIZ. Показанный куб данных имеет размер 10×15×64 элементов, дискретизация по изображению 1.28 *arcsec*, по спектру - 1 Å. На следующем рисунке (рис.11) приводится

Рис. 11: Карта интенсивностей в компоненте линии [OIII] и поле скоростей в центральной части Mkn 573

карта интенсивностей в одной из компонент линии [OIII], выделенной по данным рис.10 посредством гаусс-анализа, и найденное поле скоростей.

Все упомянутые в этом разделе программы редукции разработаны в Лаборатории спектроскопии внегалактических объектов САО РАН. Детально процедуры обработки, так же как и алгоритмы, положенные в их основу, можно найти в работах В.В.Власюка (Власюк, 1983, 1995) .

7 Квантовая эффективность спектрографа

Реализуемая квантовая эффективность спектрографа на телескопе зависит от состояния оптических поверхностей, выбора дифракционных решеток и т.п. При планировании программы наблюдений оценку квантовой эффективности можно сделать пользуясь данными, приведенными в настоящем Руководстве, или по наблюдениям спектрофотометрических стандартов.

На рис.12 приводится кривая квантовой эффективности спектрографа с

Рис. 12: Квантовая эффективность спектрографа MPFS

учетом телескопа и пропускания атмосферы, определенная по наблюдения стандартной звезды Hiltner 600. Использовалась решетка #2 (300 штр./мм, угол блеска 4.1°) и увеличитель $10^{\times}$.

Как показали исследования, нелинейность системы регистрации не более 1%, и статистика отсчетов пуассоновская. Позиционная точность порядка 2-3 *мкм*. При тщательной калибровке и корректном учете всех искажений, отношение сигнал/шум в окончательном результате может достигать величины S/N≈100. При наблюдениях слабых объектов основным фактором, ограничивающим S/N, является шум считывания ПЗС.

8 Астрофизические приложения

Мультизрачковый спектрограф MPFS является эффективным инструментом исследования центральных частей галактик, где наряду со спектрами ярких звездообразных ядер необходимо изучение спектров более слабого протяженного окружения. Возможность одновременной регистрации спектров от различных пространственных элементов позволяет учитывать рассеяние в оптике телескопа и изучать спектры близко расположенных деталей изображения.

За период работы мультизрачкового спектрографа на БТА наблюдения проводились по многим программам - исследование различия химсостава в ядре и балдже спиральных галактик, исследование кинематики газа в околоядерных областях сейфертовских галактик с протяженными областями запрещенных линий и изучение джетоподобных выбросов около звезд типа Т Тельца, отождествление слабых источников в полях ROSAT и РАТАН и т.д. Как показал опыт наблюдений, по спектрам, получаемым с MPFS, можно эффективно изучать объекты как с эмиссионными, так и с абсорбционными линиями в спектре.

Нужно отметить, что количество приложений созданного для 6-м телескопа спектрографа настолько велико, что мы не беремся их перечислять. Существенным недостатком реализованного спектрографа является в настоящий момент относительно малый размер реализуемого в наблюдениях куба данных, что особенно важно при проведении поисковых работ по слабым объектам, где необходимо большое поле зрения и широкий спектральный диапазон. Дальнейший прогресс в использовании спектрографа MPFS на БТА связывается с применением систем регистрации на ПЗС большого формата, повышением пропускания оптики и более плотной упаковкой спектров на формате светоприемника.

Список литературы

[1] Афанасьев В. Л., Власюк В. В., Додонов С. Н., Сильченко О. К., 1990, *Препринт САО*, **56**, 1-12

[2] Афанасьев В. Л. Балега Ю. Ю., Грудзинский М. А., Кац Б. М., Маркелов С. В., Нощенко В. С., Цуккерман И. И., 1887, *Техника средств связи, серия Техника телевидения*, **5**, 22-39

[3] Барден и Скотт (Barden, S. G., Scott, K.), 1986, *Bull. AAS*, **18**, 951

[4] Буллестекс и др. (Boulesteix J., Georgelin Y., Marselin M., Monnet G.), 1983 *SPIE Conf. Inst. Astron.*, **445**, 37

[5] Вандеррист и др. (Vanderriest, C., Courtes, G., Donas, J.), 1984, *J. of Optics*, **15**, 237

[6] Власюк (Vlasyuk V. V.), 1983, *Bull. of the Special Astroph. Observ.*, **36**, 107

[7] Власюк (Vlasyuk V. V.), 1995,in *3D Optical Spectroscopic Methods in Astronomy, ASP Conference Series*, ed. G.Comte,M. Marselin, **71**, 308

[8] Куртес (Courtes, G.), 1980, *ler Coll. du Comite Francais du Telescope Spatial*, Toulouse, 241-269

[9] Куртес и др. (Courtes, G., Georgelin Y., Bacon R., Monnet G., Boulesteix J.), 1988, in *Instrumentation for ground based optical astronomy*, ed. L. B.Robinson, Springer-Ferlag, 267

[10] Ле Коарер и др.,(Le Coarer E., Georgelin Y. P., Monnet G.), 1992, *C.R. Acad. Sci. Paris*, **315**, ser.II, 45

[11] Тейлор и Атертон (Taylor, K. & Atherton, P. D.), 1978, *MNRAS*, **191**, 675

9 Приложения

9.1 Атлас линий спектра сравнения лампы СГЗС

На рисунках 13-15 приведено отождествление линий для спектра лампы СГЗС, используемой в мультирзрачковом спектрографе для калибровки шкалы длин волн. Наполнение лампы состоит из смеси трех газов : He, Ne и Ar. Из всего набора линий нами выбраны только те, которые могут надежно использоваться с соответствующим спектральным разрешением. Нами отмечена также принадлежность линий тем или иным атомам и ионам и указаны линии, являющиеся блендированными. Такие линии следует использовать с осторожностью.

Спектры получены с дифракционной решеткой 1300 штр/мм с углом блеска 17°, дающей обратную линейную дисперсию ≈1.2 Å/эл.Спектральное разрешение на приведенных рисунках - около 3Å.

Рис. 13: Спектр сравнения в диапазоне 3800-5400 ÅÅ

Рис. 14: Спектр сравнения в диапазоне 5400-7000 ÅÅ

Рис. 15: Спектр сравнения в диапазоне 6800-8400 ÅÅ

9.2 Параметры командной строки программ обработки

COSMETIC

```
       Program for masking ‘hot spots‘ on CCD data
       (C)   SAO AS USSR        VLVSoft    1991

Usage : COSMETIC.EXE [-x sizex] [-y sizey] [namein] [nameout] [maskname]

where   sizex  - size of input image along X-direction( default= 512)
        sizey  - size of input image along Y-direction( default= 512)
        namein - name of input file
        nameout -  name of output result file
maskname - name of text file with masks of ’hot spots’ and defects
```

COSPAR

```
       Program for analysing cosmic hits on CCD data
       (C)   SAO Russian AS        VLVSoft    1993

Usage : COSPAR.EXE [-x sizex][-y sizey][namein1][namein2][maskname][-d dev]

where   sizex  - size of input image along X-direction( default= 530)
        dev    - deviation parameter ( default - from console)
        sizey  - size of input image along Y-direction( default= 580)
        namein1 - name of input file N1
        namein2 -  name of input file N2
maskname - name of result file with mask of hits
```

CREATSP

```
       Program for creating of image with spectra’ strobes
  (C)   SAO Russian AS,Marseille Observatory   VLVSoft v.01   18-11-1994

Usage : CREATSP.EXE [-w wid] [-x sizex] [-y sizey] [filgeo]

where  filgeo - name of text file with coefficients of polynoms
               (default name - geometry.exa)
        sizex,sizey - size of result image on both coordinates
               (default = 530 580)
        wid - width of modelled spetra ( by default = sigma*3.0)
```

CVIZ

```
 Program for CIGALE/TIGER/PYTHEAS data cubes managing and processing
       (C)   SAO Russian AS        VLVSoft v.1.03   08-02-95

Usage : CVIZ.EXE [-e] [-s] [-w wmin wmax] [-x xleft xright] [-y ytop ybot]
         [-r][-f widfact][-d][-a][-c contnam][name1][name2][...nameN]

where  wmin,wmax - limits of argument for all profiles
    xleft,xright,ytop,ybot - leftmost,rightmost,upper
and lower showed profiles
name1,name2,...nameN   - name of files with data cubes
    contnam - name of cube with continuum values
    widfact - factor of component widths transform (default = 1)
Key -e  indicates on work in EGA-mode with VGA adapter
Key -s  suggests fixed order of components (as set in GAUSAN.EXE)
Key -r  provides automatical restoring of last approximation in GAUSAN
Key -d  provides using of variable doublet parameters in GAUSAN
Key -a  provides quiet mode for wavelength in GAUSAN
```

FVIZ

```
   Program for image vizualization and some processing
       (C)   SAO Russian AS        VLVSoft v.05   27-01-95

Usage : FVIZ.EXE [-e] [-w] [-f|l] [-x Xcen] [-y Xcen] [-s Scale] [-n|N]
                [-h hdlen][-m][-p Numpal][-t Twait][name1] [name2]...

where  Xcen,Ycen,Scale - coordinates of center and scale for image fragment
        hdlen - length of image file header (default=0)
        name1   - name of file with image
        name2,..- names of next workfiles(default - no)
        Numpal  - number of palette will be used by default
        Twait   - time of waiting for any user's action (default - no)
Key -e indicates on work in EGA-mode with VGA adapter
Key  -w permits writing to image file
Keys -f & -l indicate on output first or last image fragment
Keys -n and -N allow output symbol data while repers coordinates
        re-reading from disk file
Key -m provides definition of color level even service file exists
```

GAUEXT

```
     Program for gaussian spectra extraction from detector frame
     (C)   SAO Russian AS        VLVSoft v.02   09-02-1995

Usage: GAUEXT.EXE [-b left right] [-n numsp]inpimage resfile
        [filgeo] [-d] [-y shiftY][-w AddWid]

where  left,right - borders for integrating (default = 5 MX-0)
        numsp      - amount of adjacent spectra ( default = 3)
        inpimage - name of file with input image
        filgeo - file with spectra' geometrical params(default - geometry.exa)
        resfile - file with result spectra
        shiftY  - shift of extration zone on Y (default =   0)
        AddWid  - additional part into spectra width ( default = 0.0)
Key -d  using for producing of additional information
```

GEOPREP

```
        Program for preparing of geometry data for bidimensional spectra
          (C)   SAO Russian AS,KPNO,Marseille   VLVSoft v.02  1993

Usage: GEOPREP.EXE [-f] [-r numrep] [-p power] [-x sizex] [-y sizey]
                 [-nosort] [filgeo] [filpos] [filnum] [geores]

where filgeo - name of text file with repers' coordinates
        filpos - name of text file with measured position of individual spectra
        filnum - name of text file with associated numbers of spectra
        geores - name of file with result : coefficients for each spectrum
                (default - geometry.pol)
        numrep - amount of repers in one line of repers' grid (default = 7)
        power  - power of approximating bidimensional polynom (default = 3)
        sizex,sizey - size of result image on both coordinates
     (default = 512 512)
Using of key -nosort prevents sorting of input file with
repers' coordinates
Key -f provides writing additional data to file geometry.tmp
Using -F produce additonal image file strobe.dat (512 by 512 px)
                 with predicted spectra' position
```

GAUSAN

```
       Program for Gauss-decomposition of vector data
       (C)   SAO Russian AS      VLVSoft v.04   10-02-1995

Usage : GAUSAN.EXE [-x xmin xmax] [-w wave0] [-d dist relamp relwid] [-e]
         [-r] [-f widfact] [-a] [-F] filnam

where   xmin,xmax - min&max argument values (default - from  file *.PAR)
        wave0     - restframe wavelength
        dist,relamp,relwid - distance and relations for doublet's components
        widfact - factor of width transform while it restoring
        filnam    - name of input file
Key -e  indicates on using EGA-mode (default - VGA)
Using of key -r provide restoring of parameters from gaus_sol.res
Using of key -D instead of -d provides FIXED values for doublets !
The same for key -F : first entered parameters will be used everythere
Using of key -a allows to avoid question about rest wavelength
```

IMAR

```
       Program for image arithmetics
       (C)   SAO Russian AS    VLVSoft    18-11-1994

Usage: IMAR.EXE [operation] [filnam1] [filnam2] [filnam3]
 [const1] [const2] [const3]

where  operation - (+,-,/,*,-lg,-ln)
        filnam1 - name of input image 1
        filnam2 - name of input image 2
        filnam3 - name of output image
        const1,const2,const3 - constants for calculation
        Size of output image equals size of original
```

LINID

```
  (C)   SAO Russian AS    VLVSoft v.05  24-01-1995

Usage: LINID.EXE [-p pow][-l len][-w wid][-d|-D disp][-a][-s][-f][-z]
  [-e][-m maskfil][-y min max][-c filcoef]
  [compspec lintab] [inspec outspec]

where  pow - power of dispersion approximating polynom(max=6) (default=2)
        len - length of input spectrum ( default - from file)
        wid - width of instrumental profile(default=5)
        min,max - limits for comparison spectrum respresentation
        filcoef - file with coefficients channels = > wavelength
        compspec - name of file with comparison spectrum
        lintab  - table of spectral lines wavelength
        inspec  - input spectrum to be linearized
        outspec - result of linearization
        maskfil - file with lines' positions
Key -d indicates on input value of dispersion by user
When key -D is using, necessary set dispersion value(in A/pix)
Key -a executes automatic procedure with lines` mask
       and wavelength from lintab
Key -f provides precise background estimating in each line centering
Key -s indicates on using details in object`s spectrum in forming
disp.curve only in manual program mode
Key -z provides using same values (x0,dx,step) for all linearizes data
When key -c is applying, comspec & lintab must be omitted
```

PRFTEST

```
     Program for spectra parameters determination over detector frame
     (C)   SAO Russian AS        VLVSoft v.02   09-01-1995

Usage : PRFTEST.EXE [-w width][-b left right] [-n numsp] inpimage
        [filgeo][-d][-a AmpLim][-y YcrdLim][-f FWHMLim][-p power]

where  width  - height of integration aperture(default=5,<30)
        left,right - borders for integrating (default = 10 MX-0)
        numsp      - amount of adjacent spectra ( default = 3)
        inpimage - name of file with input image
        filgeo - file with spectra' geometrical params(default - geometry.pol)
        AmpLim, YcrdLim, FWHMLim - limits for max.variation of profile params
                    by defaults -   0.9   1.0   0.5
        power  - order of approximating polynoms ( default -  3)
        Using of key -d provides extended output of results
```

PRFTESTO

```
     Program for spectra parameters determination over detector frame
     (C)   SAO Russian AS        VLVSoft v.03   08-02-1995

Usage: PRFTESTO.EXE [-w width][-b left right] [-n numsp][-p Numfrag]inpimage
        [filgeo][-a AmpLim][-y YcrdLim][-f FWHMLim]

where  width  - height of integration aperture(default=5,<30)
        left,right - borders for integrating (default = 5 MX-0)
        numsp      - amount of adjacent spectra ( default = 3)
        Numfrag    - number of fragments for spectra dividing (default = 21)
        inpimage - name of file with input image
        filgeo - file with spectra' geometrical params(default - geometry.pol)
        AmpLim, YcrdLim, FWHMLim - limits for max.variation of profile params
            by defaults -  1.00  0.50  0.75
```

SPEXTR

```
     Program for spectra extraction from detector frame
     (C)   SAO Russian AS        VLVSoft v.02   1993

Usage: SPEXTR.EXE [-w width][-b left right][-s SlitStep]
   [inpimage][resfile][filgeo]

where  width - height of integration aperture(default=5,<100)
        left,right - borders for integrating (default = 20 MX-0)
        SlitStep   - step for slit function producing (default = 1)
        inpimage - name of file with input image
        filgeo - file with spectra' geometrical params(default - geometry.pol)
        resfile - file with result spectra
```

10 Описание программы FVIZ

10.1 Назначение программы

Программа предназначена для визуализации и некоторых процедур анализа двумерных данных (изображений), записанных в виде файла прямого доступа двубайтовыми целыми числами, с использованием EGA/VGA адаптера на персональных ЭВМ, совместимых с IBM AT и функционирующих под управлением ОС MS-DOS версии не ниже 3.30.

10.2 Запуск программы

Для запуска программы достаточно набрать только имя программы : FVIZ.EXE. Кроме того, здесь можно указать имя файла с изображением. Если имя не указано в командной строке, то программа выдает сообщение :

FVIZ.EXE : Input name of file for work

Если такой файл не обнаружен, программа немедленно завершается с сообщением :

FVIZ.EXE : I can't open input file : filnam.ext

Используемый формат данных исключает возможность хранения в самом файле с изображением данных о его размерах, поэтому программа ищет также файл с именем : **filnam.%ex**,в котором должны находиться сведения о размере и размахе отсчетов. Если такой файл обнаружен и информация в нем соответствует характеру данных, продолжается нормальное выполнение программы.

В противном случае выполняется проверка назначений SIZX и SIZY. Если они были сделаны, например,с помощью команд

set SIZX=530

и

set SIZY=580,

то для текущего изображения принимаются эти значения. Если назначения отсутствуют (их можно отменить, набрав, например, **set SIZX=**), программа выдает на экран меню такого типа : **IMAGE PROCESSING PROGRAM SAO Russian AS VLV Nov 1995**

Choose, please , size of image :

128*128
256*256
512*512
530*580 pixels
580*530
1024*1024
1050*1170
1600*1600
2048*2048

OTHER SIZE.

Если один из указанных размеров соответствует требуемому, следует с помощью стрелок выбрать этот размер и нажать клавишу «ENTER». В противном случае следует выбрать OTHER SIZE. В этом случае программа выдаст запрос :

Input size of image :

В ответ на запрос нужно ввести размеры изображения по горизонтали и вертикали. Программа занесет эту информацию в служебный файл filnam.%ex для использования в дальнейшем. После этого программа начинает вывод изображения на экран в соответствии с установками в командной строке, а если таковых нет - то по умолчанию визуализируется центр изображения в масштабе 1:1 и мельче (для изображений более 300×300 элементов), или все изображения в более крупном масштабе (для меньших изображений). Для остановки вывода достаточно нажать какую-либо клавишу на клавиатуре или клавишу "мыши", если она находится вне области, отведенной под изображение. Нажатие какой-либо запрограммированной клавиши приводит к немедленному выполнению требуемого действия.

В случае нормального запуска программа формирует шкалу цветов, состоящую из 16 градаций, в соответствии с данными о размахе отсчетов поставит каждому отсчету свой цвет. Такая таблица соответствия все время находится в левом нижнем углу экрана. Возможность использования нескольких палитр определяется типом дисплея , например , по умолчанию на мониторе VGA сразу доступны 6 палитр : стандартная(EGA), 2 черно-белых, красная, синяя, зеленая, а на дисплее EGA - эти палитры, за исключением стандартной, представляются только четырьмя оттенками данного цвета.

Количество представляемых на экране элементов изображения - пикселов - также зависит от типа экрана : для VGA - 512×480 элементов, а для EGA - 512×350 элементов. Для больших изображений выводится часть указанного размера (или пропорционально сжатый больший фрагмнт), а для меньших - каждый отсчет представляется квадратом, размеры которого растут с уменьшением размеров изображения так, чтобы достигалось полное заполнение экрана. При передвижении мыши в левом верхнем углу экрана выводятся ее координаты относительно начала изображения в элементах и , в случае необходимости, отсчет, соответствующий в изображении этим координатам.

10.3 Ключи командной строки

Для подсказки значения ключей командной строки FVIZ достаточно запустить ее с параметром "?". При этом программа выдаст на экран допустимые в командной строке ключи и их значение, приняток по умолчанию. Кроме того, на экране отражается номер версии программы и дата ее последней редакции.

В командной строке допустимо указание ключей :

- -x «координата» - выбор координаты центра выводимого фрагмента по горизонтали;
- -y «координата» - то же для вертикали ;
- -s «масштаб» - масштаб вывода изображения (может быть выбран в диапазоне от 0.125 до 64);
- -e - для запуска EGA-моды на дисплее VGA;
- -w - для разрешения коррекции отсчетов изображения;
- -f - указывающего на вывод фрагмента, начинающегося с точки (1,1);
- -l - указывающего на вывод фрагмента, заканчивающегося в точке (lx,ly), где lx,ly - размеры изображения по x и по y;
- -m - указывающего на необходимость определения уровней вывода изображения независимо от информации в служебном файле;
- -n или -N - для нумерации реперов при вводе координат из файла или вывода дополнительной текстовой информации (см. описание функций работы с отдельными реперами);
- -p numpal - указывающего на номер цветовой палитры, загружаемой при старте программы (numpal лежит в диапазоне 1-6);
- -h headlen - указывающего, что первые headlen байтов изображения следует пропустить при чтении данных (например, при работе с данными, полученными с ПЗС-системой САО РАН в командной строке необходимо указывать этот ключ с значением 5760 : -h 5760);
- -t Time - ключ, указывающий на необходимость ожидания нажатия какой-либо клавиши в течение Time сек, после чего программа завершается. Если нажатие произошло, программа продолжает нормальное выполнение. Этот ключ полезен при использовании программы в пакетном режиме.

Кроме ключей, при вызове программы в командной строке допустимо указание до 10 имен файлов, которые будут использованы в программе при необходимости вместо ввода имени с консоли (попытка записи в существующий файл в этом случае невозможна, программа выдаст запрос на имя файла).

Перед рассмотрением каждой из программных функций сделаем одно общее замечание, относящееся в равной мере ко всему нижеизложенному.

Для полноценной и эффективной работы необходимо наличие на компьютере манипулятора "мышь" (далее кратко называемого мышью), программно совместимого с Microsoft Mouse. Путем перемещения стрелки и нажатия кнопок мыши и определенных клавиш в необходимых местах и выполняется работа. Естественно, что движение по изображению достигается движением манипулятора "мышь".

При отсутствии манипулятора передвижение по изображению производится с помощью стрелок (одно нажатие соответствует перемещению на 1 элемент), а для более быстрого движения необходимо одновременно нажать одну из клавиш «Shift». Нажатие кнопок мыши эмулируется нажатием «Enter» (эквивалентно левой кнопке), «Enter»+«Right Shift» (правая кнопка), «Enter»+«Left Shift» (средняя кнопка).

В дальнейшем будет предполагаться полное соответствие нажатий кнопок "мыши" и указанных комбинаций клавиш «Enter» и «Shift». Чтобы программа могла выполняться при отсутствии манипулятора мыши, необходимо наличие в памяти ЭВМ резидентного драйвера типа AGMOUSE.EXE.

Программа обеспечивает пользователя оперативной подсказкой 3-х видов :

- при нажатии «Shift»+F1 вызывается краткая подсказка на английском языке;

- при нажатии «Ctrl»+F1 вызывается подробное описание программы на английском языке;

- при нажатии «Alt»+F1 вызывается описание программы на русском языке.

Для выдачи подсказок и описаний в справочнике C : \FORTC должны присутствовать файлы FVIZB.HLP, FVIZE.HLP и FVIZR.HLP, соответственно.

10.4 Функции основного режима программы

Рассмотрим функции, выполняемые в основном режиме программы.

10.4.1 Увеличение/уменьшение размеров выводимого фрагмента

- достигается нажатием кнопок мыши, находящейся в поле изображения: нажатие левой кнопки приводит к выводу фрагмента с центром в текущей точке и с увеличенным вдвое масштабом, нажатие правой - фрагмент или все изображение выводится с уменьшенным вдвое масштабом. Нажатие средней кнопки приводит к ручному вводу масштаба и центра вывода (Scale,Xcen, Ycen). Граничные значения Scale - 0.125 (максимальное сжатие, вывод фрагмента до 4096 элементов) и 64 (максимальное увеличение, выводится фрагмент 8×8 элементов). При сжатии изображения (масштаб $\ll 1$) по строкам выполняется сглаживание с требуемым окном, а по строкам выполняется выборка, что позволяет ускорить вывод крупноформатных изображений.

10.4.2 Изменение палитры

- нажатие левой или правой клавиш мыши, когда она находится внутри прямоугольника с цифрами от 0 до 5 или символами, соответствующими палитрам, находящегося в средней части служебного фрагмента экрана. То же происходит после нажатия клавиши с буквой "P".

При изменении палитры изменяется и значение этого поля. Кроме указанных стандартных палитр возможно использование и палитр пользователя. Для этого необходимо создать в справочнике C : \FORTC текстовый файл с именем FVIZ.PAL, в котором для каждой палитры должны быть указаны - имя - 1 символ, а затем - текстовое представление цветов палитры в виде шестнадцатиричных чисел по 6 цифр в каждом : по 2 цифры для красного, зеленого и синего цветов. Каждое число должно заканчиваться знаком L. Создать такую палитру можно с помощью программы PALEDIT.EXE.

10.4.3 Отключение или включение отдельных цветов палитры

- нажатие левой или правой клавиш мыши, находящейся на изображении требуемого цвета в таблице цветов.

10.4.4 Изменение шага и порога вывода отсчетов изображения

- нажатие левой клавиши мыши в прямоугольниках с изображением знаков "+" и "-", находящимися над и под числами 1,10,100. Соответственно меняются и значения параметра. Для перехода от изменения шага к изменению порога необходимо навести мышь на квадрат с буквой **T**(hreshold) и нажать левую кнопку, для обратной перехода - нажать левую кнопку в квадрате с буквой **S**(tep). При этом меняется и буква, указывающая параметр, который подвергается изменениям. Если навестись мышью на эту букву и нажать левую кнопку, то можно ввести с клавиатуры значения Step или Threshold. Нажатием клавиш с буквами "S" и "T" и ответом на последующий запрос (Step : или Thresh :) также можно достичь требуемого результата.

10.4.5 Переход к визуализации нового изображения

- нажатие левой клавиши мыши в прямоугольнике New или клавиши "N", при этом программа выдает запрос на имя файла

Name :,

если отсутствуют имена в командной строке. Если искомый файл не обнаружен, выдается сообщение :

No such file !!!

и никаких действий не производится. В противном случае новое изображение выводится с уже установленными параметрами увеличения, шага по отсчетам и др. Отметим, что предполагается, что новое изображение имеет те же размеры, что и исходное.

10.4.6 Возврат к визуализации предыдущего изображения

- нажатие средней клавиши мыши в прямоугольнике New или комбинации клавиш «Alt»+«N». При этом текущее изображение становится "предыдущим" и возврат к нему производится аналогично.

10.4.7 Восстановление изначальных параметров вывода изображения

- нажатие правой клавиши мыши в прямоугольнике New или комбинации «Ctrl»+«N». При этом восстанавливаются начальные параметры вывода, но палитра остается прежней.

10.4.8 Очистка экрана от избыточной информации

- нажатие левой клавиши мыши в прямоугольнике C или клавиши "C". Параметры вывода остаются неизменными.

10.4.9 Выход из программы

- нажатие левой клавиши мыши в прямоугольнике End или клавиши "E" или функциональных клавиш F10 или Esc. Первые три варианта приводят к записи текущих параметров градаций вывода изображения в служебный файл, а при выходе по Esc этого не происходит. Тем самым во время следующего просмотра изображения после выхода по F10 цветовая палитра уже будет адаптирована к требованиям пользователя.

10.4.10 Смена используемой шкалы вывода

Программа предоставляет пользователю выбор из 3 доступных шкал вывода : линейной (LinWindow), битовой (BitWindow) и логарифмической (LogWindow). Во всех шкалах параметр **T**(hreshold) имеет один и тот же смысл : это значение, соотвествующее нулевому цвету (фону).

Для линейной шкалы параметр **S**(tep) имеет очевидный смысл : это количество отсчетов, приходящихся на один цвет палитры и его значение может быть любым положительным числом.

Значение Step в режиме BitWindow может изменяться от 0 до 12 и означает количество битов, на которое сдвигается 4-хбитовое окно, формирующее цвет палитры в каждом злементе изображения.

При использовании логарифмической шкалы значение Step служит для нормировки прологарифмированного изображения и может выбираться в диапазоне от 0 (максимальный контраст) до 40 (минимальный контраст).

При запуске программы устанавливается линейная шкала. Для перехода к побитовой шкале необходимо нажать левую клавиши мыши вблизи буквы B в строке LinWindow, для перехода к логарифмической шкале - правую клавишу здесь же. Возврат к линейной шкале - нажатием левой клавиши.

При использовании логарифмической шкалы выводимое изображение подвергается сравнительно медленной процедуре вычисления десятичного логарифма, что проявляется в значительном замеделнии визуализации, особенно при использовании процессоров 80286 и 80386.

10.4.11 Включение/отключение выдачи текущих отсчетов

- нажатие функциональной клавиши F1. По умолчанию выдача отсчетов в текущем положении курсора не производится (печатается величина "-1").

10.4.12 Коррекция отсчетов в выбранных точках изображения

- достигается нажатием функциональной клавиши F2. Новое значения в текущем положение необходимо ввести в ответ на запрос

NewValue :.

Следует иметь в виду, что эта операция достаточно ответственна и может привести к необратимым изменениям в данных. Поэтому по умолчанию программа работает с файлом данных в режиме "только для чтения". Для возможности коррекции необходимо запустить программу с ключом -w. Программа выдает эту подсказку при попытке коррекции отсчетов без этого ключа. Помимо этого, должна быть включена выдача текущих отсчетов (см. выше).

10.4.13 Включение/отключение "лупы" для увеличения мелкомасштабных данных

- нажатие функциональной клавиши F7. При этом в левом нижнем углу экрана на изображении цветовой шкалы появляется увеличенный фрагмент изображения вокруг положения стрелки. Точное положение стрелки находится на перекрестье прямых линий, разделяющих картину на 4 квадранта.

10.4.14 Вывод текста в выбранном месте изображения

- по горизонтали - нажатие клавиши F8, после чего нажатием левой кнопки манипулятора мышь указать место для вывода и набрать требуемый текст;

- по вертикали - нажатие F8 с одновременно нажатой клавишей Shift, далее - аналогично;

10.4.15 Отрисовка рамки с делениями и отсчетами на изображении

- нажатие комбинации клавиш «ALt»+F8;

10.4.16 Вывод единицы масштаба

- нажатие комбинации «Ctrl» + F8 с последующим вводом длины масштабного отрезка и требуемой текстовой надписи;

10.4.17 Перемещение по крупноформатному изображению

Перемещение по изображению с размерами, превосходящими размер экрана при выбранном увеличении или сжатии можно производить путем нажатия клавиш мыши с увеличением/уменьшением масштаба. Однако для больших изображений этот способ достаточно неудобен. Нажатие клавиши F9 позволяет осуществлять такое перемещение большими шагами. Программа выдает запросы :

Fragm.X-posit.:

и

Fragm.Y-posit.:,

на которые следует ответить с клавиатуры. Введенные числа интерпретируются как число шагов, на которое следует переместиться по обеим координатам относительно текущего положения. Размер такого шага соответствует примерно 9/10 выводимого фрагмента и выбран так, чтобы при перемещении на 1 шаг рассматриваемые фрагменты перекрывались.

Для перехода к соседнему фрагменту можно воспользоваться также другим режимом : переход влево/ вправо - нажатие «Ctrl» + «→» / «Ctrl» + «←; переход вверх/вниз на фрагмент - «Ctrl» + «PageUp» / «Ctrl» + «PageDown».

Действие, аналогичное применению ключей -f и -l в командной строке (выход в начало или конец изображения одновременно по x и по y), достигается одновременным нажатием «Ctrl» + «Home» или «Ctrl» + «End».

Ниже следует описание отдельных режимов работы программы, в которых все клавиши имеют специфическое назначение.

10.5 Работа с отдельными реперными точками

Переход в этот режим достигается нажатием функциональной клавиши F5 при нахождении в основном режиме программы. При этом в левом верхнем углу изображения появляется надпись :

Work with separate repers FullWind=15pix

где значение FullWind соответствует размерам рамки, окружающей положение стрелки, в которой при необходимости выполняются измерения : положения источника, его яркости, значения фона и других параметров. Все размеры, принятые в этом режиме, являются нечетными числами. Размеры рамки для измерений ограничены только доступной оперативной памятью.

В этом режиме невозможны описанные выше функции, и нажатие клавиш мыши и функциональной клавиатуры приводит к следующим действиям :

- добавление точек к списку реперов –

  нажатие левой кнопки мыши в требуемом местоположении , при этом здесь появляется квадрат с цветом палитры, соответствующим максимальным отсчетам. Размер квадрата по умолчанию соответствует размеру окна, в котором определяются значения параметров источника (например, 15 пикселам). Если видимость маркера затруднена, то в центре квадрата будет выведен маленький квадрат противоположного (нулевого) цвета.

- исключение существующих точек из списка –

  нажатие правой кнопки мыши в местоположении имеющегося квадрата, при этом изменяется его цвет на противоположный (нулевой).

- чтение списка положений реперов из файла –

  нажатие функциональной клавиши F1. При этом нужно с клавиатуры ввести имя файла. В местах, соответствующих координатам реперов, будут выведены указанные выше маркеры. Этот список реперов можно использовать так же, как и построенный вручную. При использовании ключа "-n" в командной строке каждый репер будет надписан своим порядковым номером, а при использовании ключа "-N" надпись будет взята из строки входного файла, что удобно при чтении файлов созданных, как описано ниже. Нужно иметь в виду, что текстовая информация выводится на экран только во время чтения файла и при повторных вызовах описываемого режима сохраняются только координаты введенных реперных точек.

- запись списка реперов в файл –

  нажатие функциональной клавиши F3. Нужно с клавиатуры ввести имя выходного файла, в котором будут записаны положения реперных точек в текстовом виде.

- запись в файл координат реперов вместе с дополнительной информацией –

  нажатие функциональной клавиши F4. При этом необходимо ввести необходимую информацию длиной до 20 символов **без пробелов**. Информация немедленно записывается и не может в дальнейшем корректироваться в программе.

- установка стрелки на центр тяжести выбранного фрагмента и определение параметров изображения –

  нажатие функциональной клавиши F5. Если нажать F5 одновременно с «Shift», то полученные параметры(координаты центра тяжести Xcrd,Ycrd, интеграл в рамке Flux , значение фона Fon, полуширины изображения - FWHM, sigX, sigY) печатаются в последней строке экрана, а также заносятся в файл с именем "FVIZ_CRD.TMP", находящийся в текущем каталоге.

- определение статистических характеристик изображения в рамке –

  нажатие функциональной клавиши F6. При этом среднее значение в рамке (Mean) вместе с среднеквадратичным отклонением отсчетов (RMS) и количеством отсчетов в рамке (Npo) печатаются в последней строке экрана и записываются в файл FVIZ_CRD.TMP.

- включение/выключение лупы –

  нажатие функциональной клавиши F7.

- изменение размера рамки для проведения измерений –

  нажатие функциональной клавиши F9. При этом программа запрашивает :

  New Window : .
  В ответ необходимо ввести полный размер рамки. По умолчанию рамка считается квадратной. При запуске принимается размер 15 элементов.

- изменение вертикального размера рамки –

  нажатие комбинации клавиш «Ctrl»+F9. После чего необходимо в ответ на запрос

  New WindowY :
  ввести требуемый полный размер рамки по вертикали. После независимого изменения вертикального размера рамки нажатие F9 модифицирует только горизонтальный размер. Чтобы вернуться к начальному состоянию с одновременной модификацией обоих размеров, необходимо установить равные размеры для рамки по обеим координатам.

  Если при установке размеров рамки ее общий объем превышает объем свободной оперативной памяти, то размер устанавливается равным 15 пикселам.

- изменение толщины рамки для определения фона –

  нажатие комбинации клавиш «Alt»+F9. В ответ на запрос

New Border :
необходимо ввести требуемую толщину (обычно 2-3 пиксела). Обычно она принимается равной 1 пикселу, но при необходимости более точного определения значения фона это оказывается полезным.

- изменение размера квадратного маркера –

  нажатие функциональной клавиши F9 с одновременно нажатой клавишей «Shift». Программа запрашивает новый размер маркера :

  New Boxsize :,
  на который необходимо ответить. По умолчанию он принят равным 15 элементам.

- удаление текущего списка реперов –

  нажатие комбинации клавиш «Shift»+F3.

- выход из моды работы с реперами в основной режим –

  нажатие функциональной клавиши F10 или клавиши Enter. При этом надпись в левом верхнем углу исчезает.

Следует учесть, что при выходе в основной режим параметры отмеченных реперов остаются в памяти, и при повторном входе в процедуру отмеченные реперы высвечиваются и с ними можно продолжать работу.

10.6 Построение сечений изображения

Переход к построению сечений выполняется нажатие клавиши F6 в основном режиме работы. При этом в левом верхнем углу экрана появляется сообщение :

Work with repers/slices.

Как и в предыдущем случае, нажатия всех клавиш имеют смысл, отличный от того, который они имеют в общей моде.

Для построения разреза необходимо путем нажатия левой кнопки мыши (или клавиши «Enter») указать точки, через которые должен проходить сечение. При этом точки помечаются крестиками. После отметки необходимого числа точек (не менее 2 для произвольной траектории) следует нажать правую клавишу мыши, означающую конец ввода точек. Программа запросит высоту апертуры интегрирования в каналах

Aperture :,
которую нужно ввести с клавиатуры. Положение точек аппроксимируется гладкой кривой y(x) или x(y) в зависимости от расположения точек. Рассчитанное положение траектории округляется до ближайшего целого положения. Суммирование в апертуре выполняется **ТОЛЬКО** по строкам или по столбцам изображения.

Точки изображения, попавшие в апертуру интегрирования, выводятся на экран измененным цветом. Полученный таким образом разрез выводится в виде графика. Координаты точек, через которые проходит сечение, запоминаются вплоть до следующего нажатия левой клавиши мыши, означающего переход к новой траектории интегрирования, поэтому вторичное нажатие правой клавиши мыши снова приведет к запросу на высоту апертуры интегрирования вдоль той же траектории.

В этом режиме выполняется и ряд других функций :

- открытие файла для записи координат отмеченных точек –

  нажатие клавиши F1 и ввод имени файла в ответ на запрос

  Name :.
  Если файл был открыт успешно, то в него заносятся координаты всех отмеченных точек.

- запись координат отмеченных точек в файл –

  нажатие клавиши F2. При попытке записи без открытия файла программа выдает сообщение :

  No file for data.

- закрытие файла координат –

  нажатие клавиши F3.

- запись построенного разреза в двоичный файл –

  нажатие функциональной клавиши F4. Если клавиша нажата, а не был построен ни один разрез, программа выдает сообщение :

  No slice
  и никаких действий не производит, иначе программа просит ввести имя файла

  Name :
  для записи разреза и записывает на диск файл в стандартном формате прямого доступа, состоящего из двухбайтовых чисел.

- построение разрезов по через выбранную точку –

  нажатие клавиш "x","y" для получения горизонтального и вертикального разреза, соответственно, в в пределах выведенного на экран фрагмента и клавиш "X", "Y" - для сечений через все изображение. При введенных нескольких точках использоваться будет первая из них.

- включение/выключение лупы –

  нажатие функциональной клавиши F7.

- возврат в основной режим программы –

  нажатие функциональной клавиши F10. При этом очистка изображения, занятого разрезом не производится.

Следует добавить, что при построении следующего разреза или при нажатии клавиши Esc изображение, занятое графиком, восстанавливается.

10.7 Ограничения и необходимые ресурсы

Программа работает на IBM-совместимых компьютерах с монитором не ниже EGA. При этом желательно наличие манипулятора "мышь" типа Microsoft. При отсутствии манипулятора, но наличии COM-порта необходимо воспользоваться программой типа AGMOUSE. Ограничений на размер изображения нет. Максимальный размер одновременно выводимого фрагмента – 4096×3840 элементов(для VGA). Число реперных точек в режиме работы с отдельными реперами не превышает 1024. Число точек для построения разреза – не более 20. Максимальная степень аппроксимирующего полинома для получения разреза – 3-я. Для нормального вывода текстов на экран необходимо присутствие в справочнике FORTC на диске C: файлов с именами MEDIUM.FNT и SMALL.FNT (это могут быть файлы из набора фонтов программы CHIWRITER).

Загрузочный размер программы – 150 кбайт.

10.8 Работа с данными в формате FLOAT*4

Следует отметить, что для работы с данными, записанными в виде файла прямого доступа, но в формате FLOAT*4, существует программа FVIZF.EXE, работающая практически так же, как и вышеописанная, с той лишь разницей, что шаг вывода является величиной с плавающей точкой, а построенный разрез записывается на диск также в формате FLOAT*4. Для операций с ним следует пользоваться программой VECVIZF.EXE.