



# ScoRe: автоматическая система редукции данных, полученных на спектрографе SCORPIO в длиннощелевой моде

О. Марьева

28 января 2011 г.

# Содержание

1	INTRODUCTION. Общая характеристика	3
2	Installation. Установка и конфигурация пакета	3
3	Characteristics of data obtained with SCORPIO. Характеристика различных типов данных, получаемых на SCORPIO	4
4	Creation of Logfile. Создание logfile	5
4.1	Automatic Creation of Logfile. Автоматическое создание logfile . . . . .	7
5	Data Reduction – Main Step. Обработка данных – основные этапы	7
5.1	1 этап . . . . .	7
5.1.1	Function “destroy”. Функция destroy . . . . .	9
5.1.2	Function ”altermed_long“. Функция altermed_long . . . . .	9
5.2	2 этап . . . . .	9
5.3	3 этап . . . . .	10
5.4	4 этап . . . . .	10
5.5	5 этап . . . . .	11
5.6	6 этап . . . . .	11
5.7	7 этап . . . . .	12
5.8	8 этап . . . . .	12
6	Spectrum extraction. Экстракция спектра	12
6.1	Extraction of isolated object spectrum. Экстракция спектра одиночного объекта “Spectrum extraction” . . . . .	12
6.1.1	Intspectrum . . . . .	14
6.1.2	Intspectrum_multigauss . . . . .	15
6.2	Extraction of spectra of few objects. Экстракция нескольких объектов	
	Multi extraction . . . . .	15
6.2.1	Exspect_multigauss . . . . .	17
6.3	Процедура Color_spect . . . . .	18
7	Changing auxiliary parameters. Изменение дополнительных параметров	18
8	Creation of Identification Chart. Создание карты окрестностей	18
9	Determination of New Grism. Определение новой дифракционной решетки	18
10	Features and Bugs. Возможные проблемы	20
11	References. Литература	21

## 1 INTRODUCTION. Общая характеристика

ScoRe – пакет программ для первичной редукции данных, полученных на БТА CAO с помощью фокального редуктора светосилы SCORPIO в режиме длиннощелевой спектроскопии. Программы написаны на языке IDL6.X. Этот пакет программ успешно апробирован на данных, полученных с гризмами VPHG 1200G, VPHG 1200R, VPHG 550G, VPHG 1800R, VPHG 400 и с щелью шириной 1" и 0".75.

ScoRe включает в себя все стандартные этапы редукции длиннощелевых спектров:

- удаление следов космических частиц
- вычитание BIAS
- исправление геометрии
- деление на плоское поле
- построение дисперсионной кривой и линейаризацию
- коррекцию дисперсионной кривой за орбитальное движение Земли (приведение к барицентру)
- нормировку на спектральную чувствительность

Кроме того, в пакет входят дополнительные процедуры, позволяющие осуществлять:

- автоматическое создание logfile
- коррекцию направления дисперсии
- экстракцию спектра (ScoRe позволяет экстрагировать спектр тремя различными способами)
- расчет ошибок

В ScoRe имеется режим ("Multiframe") для обработки большого количества коротких экспозиций (апробирован на серии из двухсот сорока изображений) и создания "куба данных" спектральной переменности (третья координата – время). Этот режим предусмотрен для исследования спектральной переменности. Он включается автоматически если экспозиций объекта больше 10.

Изучать спектральную переменность можно и в случае  $1 < N_{\text{экспозиций}} < 10$ . Для этого предусмотрен режим "Spectral series regime", который включается с помощью соответствующего ключа в окне изменение значений параметров обработки.

## 2 Installation. Установка и конфигурация пакета

Для успешной работы пакета ScoRe, необходимо, чтобы на Вашем компьютере был установлен язык IDL версия 6.0 и позже. Пакет программ ScoRe представляет собой архив состоящий из собственно программ, калибровочных таблиц, описания пакета в pdf-формате и установочного файла score.batc. Архив в распакованном виде весит 30 МБ. Для установки ScoRe нужно создать директорию (например, /usr/local/SCORE\_V11/) и распаковать в нее архив SCORE\_V11.tar. В файле configure прописать пути к директориям. Отметим, что по умолчанию в файле configure записано что директории, содержащие программы "scorpio.lib", "mpfs.lib", "astrolib" и директория со спектрами звезд-стандартов "standards" лежат в той директории, в которую распакован архив. А директория, из которой будут выбираться logfile – "/data" После того как Вы прописали пути, нужно запустить установочный

файл “score.batch”. Если установка прошла успешно, начать работу можно с помощью команды “score” из командной строки.

### 3 Characteristics of data obtained with SCORPIO. Характеристики различных типов данных, получаемых на SCORPIO

- BIAS — кадр с нулевой экспозицией, постоянная добавка во всех видах накоплений ПЗС. Уровень шума на кадрах BIAS равен шуму считывания. Обычно при обработке усредняется 5-10 кадров BIAS. В электронном журнале наблюдений обозначается bias.
- FLAT — спектральное плоское поле. Используется для учета неоднородности чувствительности, дефектов и клиновидности щели, для удаления фрингов. Фринги – интерференционная картина, возникающая на тонких ПЗС в слое кремния и зависящая от многих параметров, в основном от длины волны падающего излучения. В электронном журнале наблюдений обозначается flat.
- NEON — калибровка шкалы длин волн. Производится с помощью лампы с полым катодом (ЛПК) с He-Ne-Ar наполнителем. В электронном журнале наблюдений обозначается neop.
- STAR MASK — звезда – спектрофотометрический стандарт, снятый в режиме “бесщелевой спектроскопии”. Наблюдения звезд – спектрофотометрических стандартов рекомендовано проводить в режиме “бесщелевой спектроскопии”. Для выделения спектра объекта в центре поля зрения используется круглая маска. Она обеспечивает невиньетированное поле зрения диаметром около 30 ". В электронном журнале наблюдений обозначается obj и в графе FILTERS ставится “mask”.
- STARSLIT — спектр звезды-стандарта, полученный на щели. В электронном журнале наблюдений обозначается obj и в графе FILTERS ставится “slit\_x”, где x – ширина щели в угловых секундах.

В большинстве случаев во время наблюдений снимаются спектры спектрофотометрических стандартов из списка [Oke \(1990\)](#), рекомендованного в описании к прибору SCORPIO ([Афанасьев & Моисеев , 2008](#)).

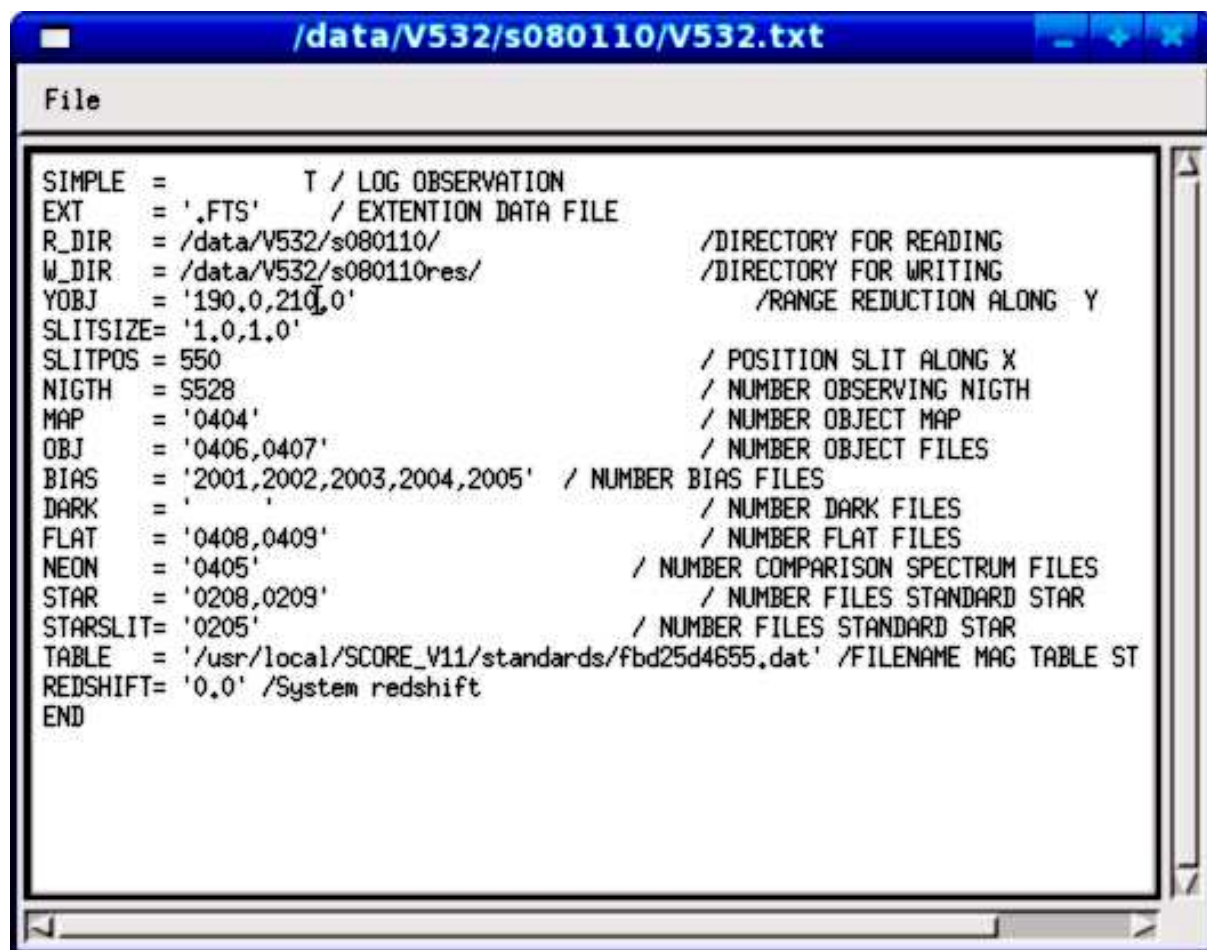
- OBJECT – спектр объекта. В электронном журнале наблюдений обозначается obj.
- MAP – прямой снимок объекта, получаемый непосредственно перед спектроскопией и используемый для точного наведения на объект. В электронном журнале наблюдений обозначается obj, в графе MODE записывается “Image”.

На всех изображениях присутствует

- OVERSCAN — несканируемая область, темная полоса на краю изображения, возникающая из-за разницы между физическим размером матрицы и размером файла. Для матрицы (EEV 42 40), установленной на SCORPIO, размер файлов  $2068 \times 1046$ , физический размер  $2048 \times 1026$ . Для SCORPIO уровень bias с большой точностью постоянен и совпадает с уровнем overscan.

## 4 Creation of Logfile. Создание logfile

Перед запуском программы необходимо создать logfile – файл, содержащий всю основную информации об исходных данных и о директории, в которую будут сохраняться результаты обработки. Logfile должен иметь такой же формат, как и заголовок fits-файла. Первые 8 позиций – ключевое слово, 9 позиция – знак “=”, 10 позиция – пробел “ ”, в одинарных кавычках записываются значения, перед комментариями ставится “/”. Logfile должен обязательно заканчиваться ключевым словом “END”. Образец logfile показан на [рис.1](#)



```

/data/V532/s080110/V532.txt

File

SIMPLE =          T / LOG OBSERVATION
EXT    = '.FTS'    / EXTENTION DATA FILE
R_DIR  = /data/V532/s080110/          /DIRECTORY FOR READING
W_DIR  = /data/V532/s080110res/       /DIRECTORY FOR WRITING
YOBJ   = '190,0,210,0'               /RANGE REDUCTION ALONG Y
SLITSIZE= '1.0,1.0'
SLITPOS = 550                        / POSITION SLIT ALONG X
NIGTH  = 5528                        / NUMBER OBSERVING NIGTH
MAP    = '0404'                      / NUMBER OBJECT MAP
OBJ    = '0406,0407'                 / NUMBER OBJECT FILES
BIAS   = '2001,2002,2003,2004,2005' / NUMBER BIAS FILES
DARK   = ' '                          / NUMBER DARK FILES
FLAT   = '0408,0409'                 / NUMBER FLAT FILES
NEON   = '0405'                      / NUMBER COMPARISON SPECTRUM FILES
STAR   = '0208,0209'                 / NUMBER FILES STANDARD STAR
STARSLIT= '0205'                     / NUMBER FILES STANDARD STAR
TABLE  = '/usr/local/SCORE_V11/standards/fbd25d4655.dat' /FILENAME MAG TABLE ST
REDSHIFT= '0.0' /System redshift
END

```

Рис. 1: Образец logfile

Список ключевых слов:

- EXT – расширение исходных данных, обычно '.FITS'
- R-DIR – директория, содержащая исходные данные
- W-DIR – директория, в которую будут сохраняться обработанные данные
- YOBJ – начальный диапазон координат вдоль щели для экстракции спектра объекта (используется процедурами экстракции в разделе ) <sup>1</sup>
- SLITSIZE – ширина щели в угловых секундах
- SLITPOS – положение щели в пикселях на прямом снимке объекта
- NIGHT – номер наблюдательной ночи в формате SXXX где S – идентификация прибора, XXX - номер ночи (на SCORPIO принята сплошная нумерация ночей)
- MAP – номер(а) файла(ов), содержащего(их) изображение(я) объекта, в формате ZZYY где ZZ - номер “куба данных”, YY - номер изображения в “кубе”
- OBJ – номер(а) файла(ов), содержащего(их) спектр(ы) объекта.
- BIAS – номер(а) файла(ов), содержащего(их) bias с тем же биннингом, что и объект.
- FLAT – номер(а) файла(ов), содержащего(их) изображение(я) спектрального плоского поля.
- NEON – номер(а) файла(ов), содержащего(их) спектр(ы) ЛПК.
- STAR – номер(а) файла(ов) с изображением(ями) звезды стандарта в маске
- STARSPLIT – номер(а) файла(ов) со спектром(ами) звезды-стандарта на щели.
- TABLE – файл, содержащий табличный спектр звезды-стандарта в dat формате.
- REDSHIFT – предварительная оценка красного смещения, в основных этапах обработки не используется, но записывается в заголовок fits-файла.
- END

---

<sup>1</sup>В данном руководстве X – обозначает координату вдоль дисперсии (поперек щели), Y – координату вдоль щели.

## 4.1 Automatic Creation of Logfile. Автоматическое создание logfile

logfile можно создать автоматически при помощи опции “Create log”. Запустите “Create log”, используя кнопку под номером 3 на [рис. 2](#) – перед Вами появится окно, в котором следует выбрать директорию, в которой будет лежать logfile, и указать имя этого logfile. После этого появится окно, в котором нужно выбрать файлы, содержащие экспозиции объекта. После этого появится окно, в котором нужно выбрать файлы, содержащие экспозиции звезды стандарта. Затем программа самостоятельно просмотрит все файлы в директории, содержащей экспозиции объекта, и выберет файлы, содержащие изображения flat, neon, map, ближайшие по времени к экспозиции объекта. logfile создан. Рекомендуем проверять правильность создания logfile и соответствие вспомогательных экспозиций экспозиции объекта.

Отметим, что при большом числе экспозиций объекта удобнее использовать автоматическое создание logfile, так как в данном случае сокращается число опечаток.

## 5 Data Reduction – Main Step. Обработка данных – основные этапы

Для запуска обработки достаточно:

- запустить ScoRe
- загрузить logfile
- выбрать этапы редукции в окне 17 (см. [рис. 2](#))
- нажать кнопку “RUN” (18 на [рис. 2](#))

Обработка разная для разных типов данных. Обработка зависит также и от количества экспозиций. После каждого этапа редукции обработанные данные записываются в файлы. Первое слово в названии данного файла соответствует типу данных, а суффикс – этапу обработки. Например, запись starslit\_ic.fts значит, что тип данных STARSPLIT, суффикс \_ic – файл записан после второго этапа обработки.

Сразу отметим, что в ScoRe для нормировки спектра можно использовать готовый файл “sent.fts”, содержащий кривую спектральной чувствительности. Т.е. можно не обращаться STAR и STARSPLIT (подробнее написано в [разделе](#) ).

### 5.1 1 этап

На первом этапе выполняется распаковка архивов (.zip). Средний BIAS находится как массив медианных значений в каждом пикселе, поэтому важна согласованность размеров всех файлов bias. Результат записывается в файл bias\_i.fts.

Если экспозиций объекта несколько (больше 1, но меньше 10) и включен флаг “shift image y” (см. [раздел](#) ), то методом кросскорреляции по Y-координате находится смещение отдельных снимков объекта относительно первого (процедура DEF\_SHI, В.Л.Афанасьева), и все кадры соответственно смещаются. Обрезается overscan. Время начала экспозиции переводится в юлианскую дату с помощью процедуры JULDATE (W. Landsman & S. Parsons) и записывается в заголовок fits-файла. Позиционный угол

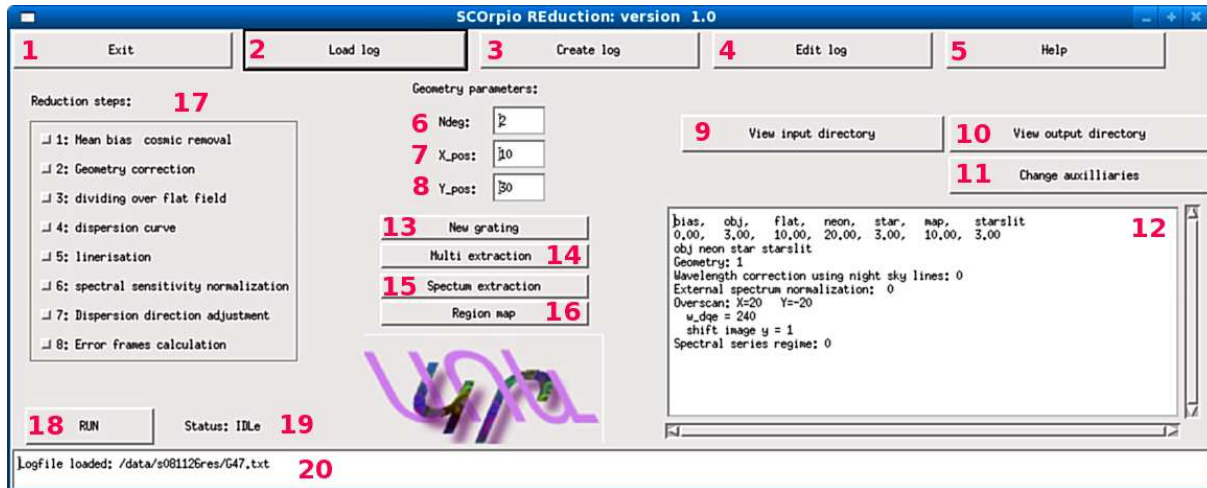


Рис. 2: Внешний вид основного окна пакета ScoRe. 1 – выход, 2 – загрузить готовый logfile, 3 – автоматическое создание logfile, 4 – просмотр (изменение) загруженного logfile, 5 – описание программы, 6, 7, 8 – параметры, относящиеся к исправлению геометрии, 9 – просмотр исходных данных, 10 – просмотр обработанных данных, 11 – изменение значений параметров обработки, 12 – список значений параметров обработки, 13 – определение новой дифракционной решетки, 14 – экстракция нескольких объектов, 15 – экстракция спектра, 16 – создание карты окрестности, 17 – основные этапы редукции, 18 – кнопка запуска, 19 – статус 20 – панель, на которой записано имя загруженного logfile

$PA_{slit}$  рассчитывается по формуле  $PA_{slit} = P2 - P_{table} + 132.5$  (где  $P2 = 'PARANGLE'$  и  $P_{table} = 'ROTANGLE'$  берутся из заголовка исходного fits-файла) и записывается в заголовок fits-файла как "POSANG". Удаление следов космических частиц происходит двумя способами в зависимости от количества экспозиций. Если имеется только одна экспозиция, то для удаления следов частиц используется процедура `destroy`. В случае нескольких экспозиций (больше 1, но меньше 10) используется процедура `altermed_long`.

Если имеется несколько экспозиций объекта (больше 1, но меньше 10) и включен флаг "spectral series regime" (подробнее см. раздел), из почищенных изображений вычитается средний `bias` и создается трехмерный массив. Этот массив записывается в файл `obj_i3.fits`.

Почищенные от следов космических частиц изображения суммируются. После этого из суммарного изображения вычитается средний `bias`, умноженный на число экспозиций. Обработанные данные записываются в файлы с суффиксом `_i` и расширением `fts`, для контроля чистки космических частиц создаются файлы с суффиксом `_mask` и расширениями `ps` и `fts`.

Если число экспозиций больше 10 (программа тестировалась на 240 экспозициях), то:

- каждое изображение сдвигается относительно суммы предыдущих изображений



- из каждого изображения вычитается средний *bias*
- каждое изображение чистится от следов космических частиц
- каждое обработанное изображение записывается в отдельный файл с суффиксом *\_iX* и расширением *fts*, где *X* это номер экспозиции.
- все почищенные изображения объекта складываются, суммарное изображение записывается в файл *obj\_i.fts*

Кроме этого, в иллюстративных целях создается трехмерный файл (анимация) *\_i.mprg*, в котором каждое обработанное изображение представляет собой отдельный кадр.

### 5.1.1 Function “destroy”. Функция *destroy*

*destroy* – функция для удаления следов космических частиц с одиночного кадра, написанная П.Аболмасовым (2003). Сначала определяется общий средний уровень изображения. Затем определяются положения точек, превышающих этот уровень в несколько раз, после этого для каждой точки проверяется наличие яркого соседа. Предполагаем, что след космической частицы имеет размер несколько пикселей и является протяженным как вдоль направления дисперсии, так и поперек. Это отличает след космической частицы от эмиссионных линий (протяженные эмиссионные объекты будут заметно вытянуты только поперек направления дисперсии, а спектры звезд – вдоль дисперсии). Отобранные таким образом точки на изображении заменяются средним уровнем изображения. Функция возвращает изображение без следов космических частиц и маску – двумерное изображение, на котором показано какие точки на изображении были заменены.

### 5.1.2 Function “altermed\_long”. Функция *altermed\_long*

*altermed\_long* – функция для удаления следов космических частиц с нескольких изображений (2-10), написанная П.Аболмасовым (2005). Для каждого изображения медианным средним создается средний уровень обозначаемый “*alim*”, и изображение перенормируется на соответствующее среднее значение потока. Каждая точка, превышающая уровень  $alim + thresh \times \sigma(\text{Пуассона})$  рядом с которой находятся две или более точки, также превышающие этот уровень, считается следом космической частицы и удаляется (т.е. заменяется средним уровнем “*alim*”). *thresh* – изменяемый параметр обработки. Также удаляются все точки, уровень которых превышает  $alim + 2thresh \times \sigma$ . Эта процедура позволяет отделить следы космических частиц от деталей спектра. Функция возвращает суммарное изображение без следов космических частиц, *маску* и трехмерный файл “*obj\_i3.fts*”, содержащий почищенные изображения.

## 5.2 2 этап

Если включен флаг “*Geometry correction*”, на втором этапе исправляется искривление изображения, возникающее из-за аберраций дифракционной решетки (процедура “*geometry\_neon*”). Для исправления используется спектр калибровочной лампы.

Смысл данной процедуры заключается в том, что двумерное изображение спектра **NEON** сначала разделяется на  $NY$  полос по  $Y$  (вдоль щели). И в каждой полосе проводится суммирование. Таким образом получается  $NY$  одномерных спектров **NEON**. ( $NY = Y\_pos$ , см. 8 на **рис. 2** и по умолчанию  $NY = 30$ ). После этого происходит разбиение по  $X$  на  $NX$  частей, таким образом получается  $NX \times NY$  спектров **NEON** ( $NX = X\_pos$ , см. 8 **рис. 2** и по умолчанию  $NX = 10$ ). После этого кросс-корреляционным методом находится смещение между спектрами, расположенными в одной колонке. Кросс-корреляционные индексы аппроксимируются полиномом сначала для каждого столбца, затем для каждой строки. В результате получается массив новых координат. С помощью процедуры “warp\_tri” изменяется геометрия всех изображений (**NEON**, **FLAT**, **OBJ**, **STAR**, **STARSLIT**). Исправленные изображения записываются в файлы с суффиксом `_ic` и расширением `fts`. Для контроля исправления геометрии создаются файлы с суффиксом `_warp` и расширением `ps`.

Для режима “Spectral series regime” предусмотрена процедура “geometry\_neon\_quasi3d”. С помощью процедуры `geometry_neon_quasi3d` исправляется геометрия в трехмерном файле “obj\_i3.fts” и создается трехмерный файл “obj\_ic3.fts”.

Процедура “geometry\_neon\_multiframe” включается в случае  $N_{\text{экспозиций}} > 10$  (режим “Multiframe”). Она работает аналогично “geometry\_neon”, но на последнем этапе обрабатывается каждое изображение `obj_iX` и записывается в отдельный файл с суффиксом `_ic` и расширением `fts`. Суммарное изображение с исправленной геометрией записывается в файл `obj_ic.fts`. Создается трехмерный файл `_ic.mpg`, в котором каждое обработанное изображение с исправленной геометрией – это отдельный кадр.

Если флаг “Geometry correction” не включен, файлы с суффиксом `_i` автоматически копируются в файлы с суффиксом `_ic`, а файлы с суффиксом `_warp` не создаются.

### 5.3 3 этап

На третьем этапе все (`obj`, `star`, `starslit`) делятся на плоское поле. Изображения, деленные на **flat**, записываются в файлы без суффикса с расширением `fts`.

В случае большого числа экспозиций создается файл `obj.mpg`

### 5.4 4 этап

Для построения дисперсионной кривой используется спектр калибровочной лампы с He-Ar-Ne наполнителем. При автоматическом построении кривой положение линий калибровочного спектра сравнивается с табличными данными<sup>2</sup>, таким образом определяется дифракционная решетка. Строится предварительная дисперсионная кривая. Затем эта дисперсионная кривая уточняется с помощью вписывания гауссиан в избранные линии. Дисперсионная кривая сохраняется в файл “2D\_coeff.fts”. Для контроля создается файл с дисперсионной кривой (`neon_poly.ps`) и файл со спектром

<sup>2</sup>Для всех гризм, используемых на SCORPIO, существуют эталоны спектров стандартов длин волн. Т.е. для каждой решетки имеется таблица, в которой приведены длины волн (в воздухе) наиболее ярких линий и значения интенсивности этих линий.

NEON (neon.ps). Отметим, что ошибки, показанные на этих рисунках увеличены в 100.

## 5.5 5 этап

При линейаризации спектра используется дисперсионная кривая, построенная по спектру neon. Линеаризованные изображения записываются в файл с суффиксом `_lin` и расширением `fts`. Если включен флаг “Wavelength correction using night sky lines” (подробнее см. [раздел](#)), при линейаризации используются линии неба (для гризм VPHG550G и VPHG1200G [OI]  $\lambda 5577$ , для VPHG1200R [OI]  $\lambda 6300$ ).

С помощью процедуры `baryvel` (Valenti, Berkeley, McCarthy, Landsman) по юлианской дате определяется барицентрическая скорость, которая записывается в заголовок `fits`-файла. Двухмерные спектры объекта и звезды – стандарта (полученные и в маске, и на щели) приводятся к барицентру.

## 5.6 6 этап

Нормировка спектра на спектральную чувствительность.

Сначала из [STAR](#) (файл `star_lin.fts`) экстрагируется спектр звезды стандарта, который, затем, делится на табличный спектр<sup>3</sup>, получается кривая квантовой эффективности (Digital Quantum Effective DQE). После этого кривая квантовой эффективности сглаживается с помощью процедуры `lowess` (H.T. Freudenreich) с окном сглажки `wdqe=240` (по умолчанию). Размер этого окна можно менять (см. [раздел](#)). Для контроля создается файл `DQE.ps`, в котором на нижнем рисунке показаны два спектра (табличный спектр звезды стандарта и наблюдаемый), а на верхней – кривая DQE (черным), красным – аппроксимирующий полином. Кривая DQE записывается в отдельный файл `'sent.fts'`. Этот файл можно отдельно использовать для нормировки других данных см. ниже. Используя данную кривую DQE осуществляется переход к нормированному спектру (переход от числа отсчетов в пикселе к эрг  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-2}$ ) (процедура “`long_corrrent`”). Нормированные спектры записываются в файлы с суффиксом `_norm` и расширением `fts`.

Если включен флаг “[External spectral sensitivity calibration](#)” после запуска 6 этапа перед Вами появиться окно, в котором следует выбрать файл, содержащий кривую спектральной чувствительности, посчитанную независимо. Далее эта процедура копирует этот файл и файл для контроля `DQE.ps` в [W-DIR](#). Дальше спектр объекта обрабатывается также с помощью процедуры “`long_corrrent`”.

Поясним, что ключ “[External spectral sensitivity calibration](#)” полезен в том случае, если у Вас в течение одной ночи получены спектры нескольких объектов на одной гризме. Посчитав `'sent.fts'` при обработке одного из объектов, можно сократить время обработки других объектов и сэкономить место на жестком диске, включив данный ключ. При этом [STAR](#) и [STARSLIT](#) вообще не будут обрабатываться. Не появятся файлы `star_i.fts`, `starslit_i.fts` и т.д. Иногда во время наблюдений забывают или не успевают снять спектр звезды стандарта или снятый спектр плохого качества. Поэтому при обработке приходится использовать спектр звезды стандарта, снятый в другую ночь. В этом случае тоже стоит использовать ключ “[External spectral sensitivity](#)”

---

<sup>3</sup>для всех звезд – стандартов имеются таблицы, в которых приведены значения энергии в зависимости от длины волны.

calibration”.

## 5.7 7 этап

Данный этап предназначен для коррекции атмосферной дисперсии. В случае если атмосферная дисперсия направлена вдоль щели, положение объект на матрице смещается вдоль щели в зависимости от длины волны. Процедура “LS\_correlate” кросс-коррелирует монохроматические изображения вдоль щели. Исправленное изображение записывается в файл obj\_norm\_1.fts. Стоит использовать данную процедуру и в случае плохо закрепленной призмы.

## 5.8 8 этап

В основу оценки погрешностей везде положен статистический подход. Считается, что дисперсия количества электронов в данном элементе разрешения приемника (ПЗС-матрица EEV 42-40 с низким шумом считывания) равна математическому ожиданию их количества, что соответствует пуассоновской статистике. Такое предположение используется при удалении следов космических частиц, а также при оценке погрешностей потока. Файлы ошибок (errorframes) рассчитываются в стандартных предположениях переноса погрешностей. Сначала с помощью процедуры “errorframe\_long” создается файл ошибок dsp.fts. Затем, с помощью процедуры “signal\_noise\_score” рассчитывается значение ошибки на элемент разрешения, создается файл noise.fts, определяется отношение сигнал/шум (отношение obj\_spect.fts к noise.fts) и записывается в файл signal.fts.

Примечание: так как процедуры “errorframe\_long” и “signal\_noise\_score” обращаются к файлу obj\_spect.fts, который создается при экстракции спектра, запускать данный этап стоит последним, после выполнения семи, описанных выше, этапов обработки и после экстракции спектра.

## 6 Spectrum extraction. Экстракция спектра

В ScoRe предусмотрено несколько видов экстракции спектра. Для экстракции одиночных объектов рекомендуется выбрать **Spectrum extraction**, если имеется несколько близко расположенных объектов, рекомендуется использовать **Multi extraction**.

В случае если включен флаг “Spectral series regime”, спектр экстрагируется из всего куба с помощью процедуры “extract\_spectral\_series”.

Если экспозиций объекта несколько (больше 10), то лучше выбрать **Spectrum extraction**, сначала экстрагируется суммарный спектр, а затем спектр из каждой отдельной экспозиции (процедура “intspectrum\_multiframe”).

### 6.1 Extraction of isolated object spectrum. Экстракция спектра одиночного объекта “Spectrum extraction”

Чтобы начать экстракцию, щелкните один раз мышкой на кнопке Spectrum extraction (показана **рис.3**) Перед Вами появится окно – выберите файл, из которого будет экстрагироваться спектр (обычно obj\_norm.fts или obj\_norm\_1.fts)

Затем перед Вами появится окно **рис. 4** в котором с помощью активных слайдеров можно выбрать область объекта. Обозначим  $y_1$  – значение первого слайдера,  $y_2$  – значение второго слайдера. Тогда, в области  $(y_1 + y_2)/2 \pm (y_2 - y_1)$  будет экстра-

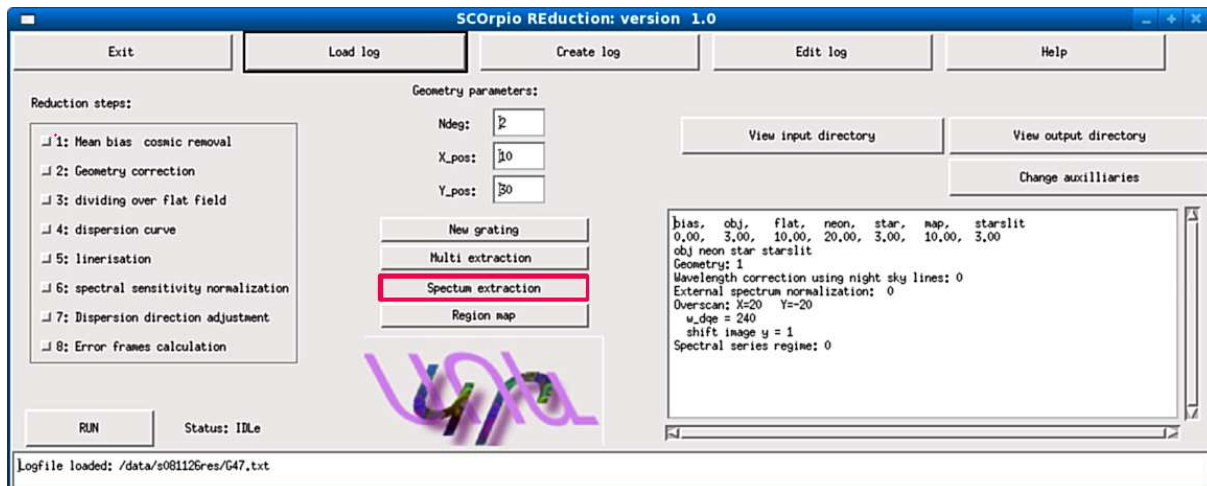


Рис. 3: экстракция спектра

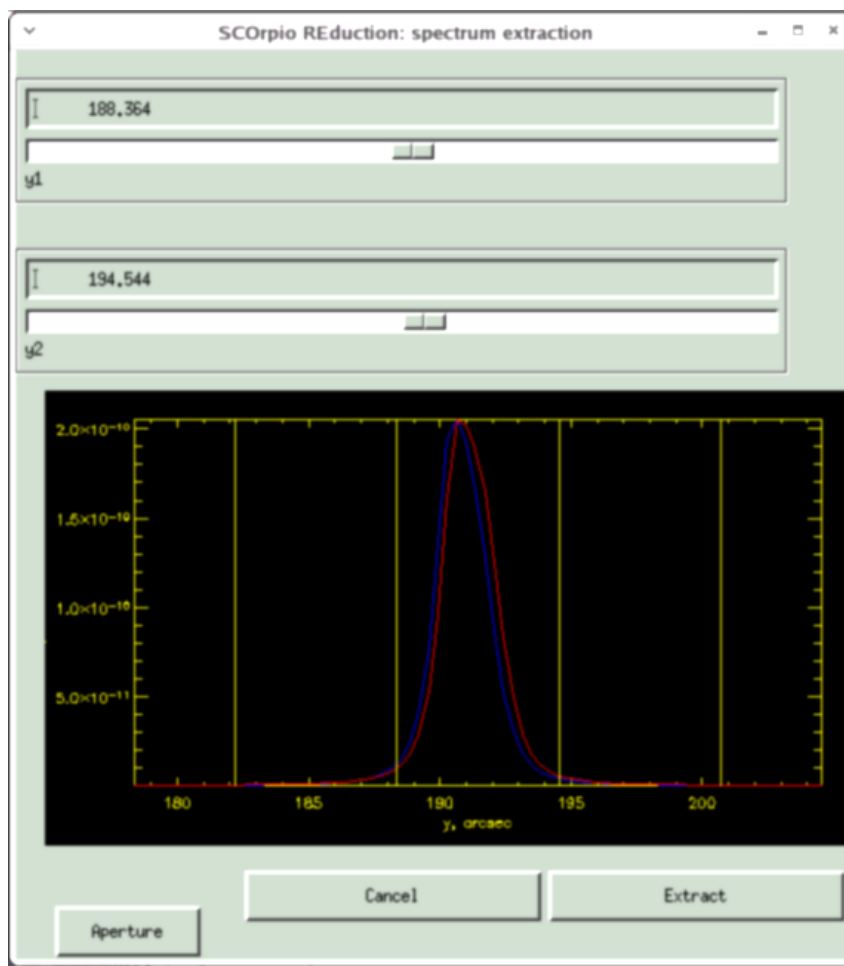


Рис. 4: Окно intspectrum. Красным показан суммарный (по длине волны) профиль вдоль щели в красной части спектра, синим – профиль вдоль щели в синей части спектра, вертикальные линии (внутренние) соответствуют положению слайдеров, по отрезкам между внутренними и внешними линиями будет строиться фон.

гироваться объект. Фон будет экстагироваться в областях  $((y1 + y2)/2 - 2(y2 - y1) ; (y1 + y2)/2 - (y2 - y1))$  и  $((y1 + y2)/2 + (y2 - y1) ; (y1 + y2)/2 + 2(y2 - y1))$

В Spectrum extraction можно выбрать с помощью кнопочки Aperture. несколько режимов экстакции

- Экстракция гауссианой “Gauss”
- Экстракция апертурой “Aperture”
- Экстракция двумя гауссианами “MultiGauss”

При нажатии кнопки Extract начнется экстракция спектра, при нажатии кнопки Cancel окно закрывается.

Если выбран режим экстракции “Aperture” или “Gauss”, то экстракция спектра проводится с помощью процедуры `intspectrum` (П. Аболмасов). Если выбран режим экстракции “MultiGauss”, то экстракция спектра проводится с помощью процедуры `intspectrum_multigauss` (О. Марьева).

После окончания экстракции по полученному спектру с помощью процедуры `color_spect` определяется видимая звездная величина объекта и показатель цвета.

### 6.1.1 Intspectrum

`intspectrum` – процедура, используемая для получения одномерных спектров из двумерных. Эффективно работает при экстракции одиночных объектов с отношением сигнал/шум больше Значения  $y1$  и  $y2$  записываются в файл `intspec_file.txt`

Спектр экстрагируется в две итерации.

1 итерация – для каждого значения длины волны:

Профиль объекта в интервале  $yc - dy, yc + dy$ , где  $yc = (y1 + y2)/2, dy = (y2 - y1)/2$ , аппроксимируется гауссианой с помощью процедуры `gaussfit`. Полученные параметры гауссиан (`fwhm`, центр) сохраняются.

После первой итерации массивы со значениями `fwhm` и центров аппроксимируются полиномами второй степени (процедура `goodpoly`, написанная Marc W. Buie). А значения потоков сглаживаются медианным фильтром.

2 итерация – для каждого значения длины волны:

Если выбран режим экстракции “Aperture”, то поток находится простым суммированием в интервале  $yc - dy/2, yc + dy/2$ . Положение центра определяется по формуле (как центр тяжести) `fwhm` – (средневзвешенное стандартное отклонение).

Если выбран режим экстракции “Gauss” то профиль объекта в интервале  $yc - dy/2, yc + dy/2$  аппроксимируется гауссианой с фиксированным положением центра и предварительными параметрами [`amplitude, center, fwhm`], где `amplitude, center, fwhm` находятся как значения соответствующих аппроксимирующих полиномов в данной точке. Параметры гауссианы сохраняются.

Зависимость потока от длины волны (спектр) сохраняется в файл `obj_spect.fts` и в `obj_spect.ps`.

Для контроля экстракции создаются `obj_spect_fwhm.ps` и `obj_spect_cent.ps`, на которых показаны зависимости, соответственно, полуширины и положения центра

от длины волны, красным показан соответствующий аппроксимирующий полином.

### 6.1.2 `Intspectrum_multigauss`

`intspectrum_multigauss` – процедура, используемая для получения одномерных спектров из двумерных. Эффективно работает при экстракции близко расположенных объектов (расстояние между объектами меньше 7").

Спектры объектов экстрагируются в две итерации.

1 итерация – для каждого значения длины волны:

Профиль в интервале  $y_c - dy, y_c + dy$ , где  $y_c = (y1 + y2)/2$ ,  $dy = (y2 - y1)/2$ , аппроксимируется двумя гауссианами, с предварительным положением центров ( $y_c - 3$ ) и ( $y_c + 3$ ), с помощью процедуры `multigauss` (Moiseev 2002).

После первой итерации массивы центров и полуширин аппроксимируются полиномами второй степени.

2 итерация – для каждого значения длины волны:

профиль в интервале  $y_c - dy, y_c + dy$  аппроксимируется двумя гауссианами с предварительными положениями центров и полуширинами, полученными как значения соответствующих аппроксимирующих полиномов в данной точке.

Зависимость потока от длины волны (спектр) для каждого объекта сохраняется в файлы `obj_spect0.fts`, `obj_spect1.fts`, `obj_spect0.ps`, `obj_spect1.ps`.

Для контроля экстракции создаются `obj_spect0_fwhm.ps`, `obj_spect0_cent.ps`, `obj_spect1_fwhm.ps`, `obj_spect1_cent.ps` на которых показаны зависимости, соответственно, полуширины от длины волны и положения центра от длины волны, красным показан соответствующий аппроксимирующий полином.

---

Если экспозиций объекта больше 10, после процедуры `intspectrum` запускается процедура “`intspectrum_multiframe`”, с помощью которой экстрагируются одиночные спектры (процедура `intspectrum` экстрагирует суммарный спектр). Процедура экстракции аналогична `intspectrum`. Начальное положение объекта такое же как и при экстракции суммарного спектра (его не нужно каждый раз задавать, оно автоматически считывается из файла `intspec_file.txt`). Кроме отдельных спектров, которые записываются в файлы `obj_spectX.fts`, данная процедура создает еще и файлы `obj_multispect.fts` и `obj_multispect_norm.fts`. `obj_multispect.fts` – трехмерный файл, в котором собраны все одномерные спектры и смещены по времени. В `obj_multispect_norm.fts` – собраны нормированные спектры.

Если включен флаг “`spectral series regime`” после процедуры `intspectrum` запускается процедура “`extract_spectral_series`”. Спектры отдельных экспозиций записываются в файлы `spectr_obj_X.fts`, также как и предыдущем случае создаются трехмерные файлы – `cube_spect.fts` и `cube_spect_norm.fts`.

## 6.2 Extraction of spectra of few objects. Экстракция нескольких объектов Multi extraction

Чтобы начать экстракцию, щелкните один раз мышкой на кнопке Multi extraction (показана [рис.5](#)) Перед Вами появится окно – выберите файл, из которого будет экс-

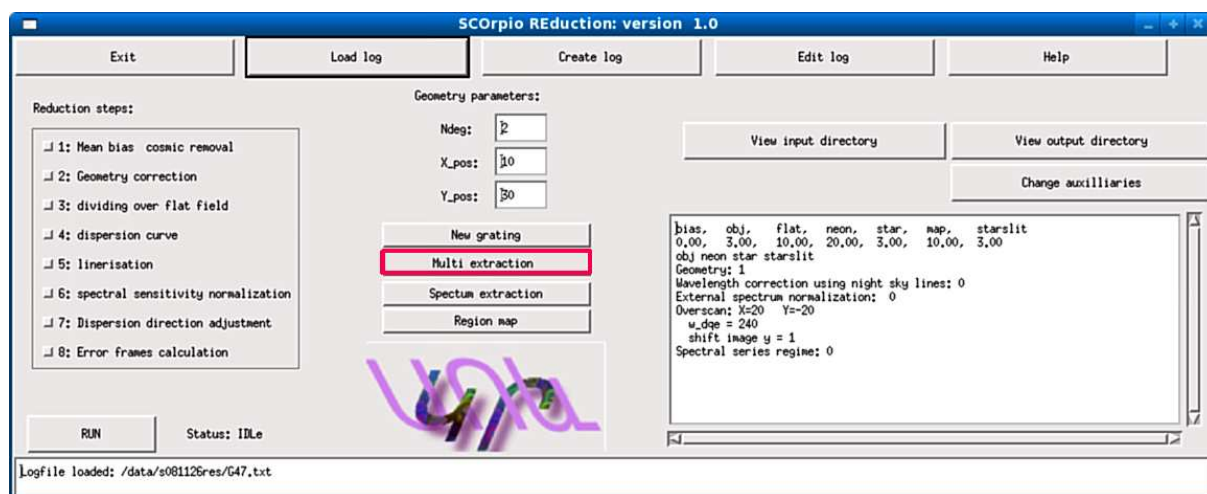


Рис. 5: экстракция спектра Multi extraction

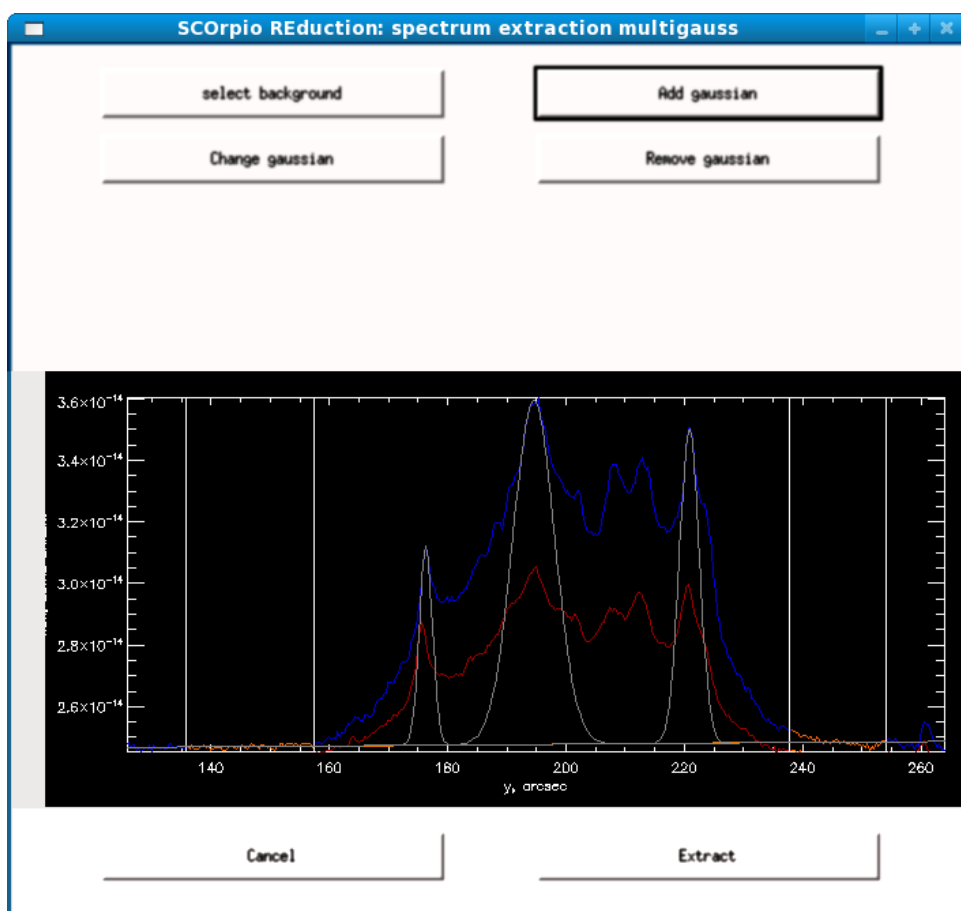


Рис. 6: окно Multi extraction



трагироваться спектр (обычно `obj_norm.fts` или `obj_norm_1.fts`)

Затем перед Вами появится окно [рис.6](#)

В окне синим цветом показан суммарный (по длине волны) профиль объекта вдоль щели в голубой части спектра, красным – суммарный (по длине волны) профиль объекта вдоль щели в красной части спектра, зеленым участки, по которым будет строиться фон.

Участки, по которым будет строиться фон, можно выбрать с помощью слайдеров, которые появляются при нажатии кнопки “select background”. Кроме этого, фон можно построить автоматически, для этого достаточно нажать кнопку “Smooth background” или “Low background”. При этом сначала с помощью процедуры `fi_peak`, написанной В.Л.Афанасьевым, определяется положение  $n$  самых ярких звезд<sup>4</sup>, отсортированных по яркости. Фон строится для каждой длины волны с использованием сглаживающего сплайна (процедура `lowess`, Н.Т. Freudenreich), либо скользящего среднего. Выбор между двумя алгоритмами осуществляется при помощи кнопок “Low background” и “Smooth background”. Области вокруг ярких звезд (расстояние до ближайшей звезды  $\leq 20''$  при “Low background” и  $\leq 6''$  при “Smooth background”) не используются при проведении фона. Значения фона интерполируются на весь рассматриваемый диапазон по  $Y$ .

Вы можете добавить нужное количество гауссиан. При нажатии на кнопочку “Add gaussian” появляется новая гауссиана, начальные параметры которой можно менять с помощью слайдеров. Используя кнопочки “Change gaussian” и “Remove gaussian” можно соответственно менять параметры уже имеющихся и удалять гауссианы.

Экстракция проводится с помощью процедуры [Exspect\\_multigauss](#) (О. Maryeva).

### 6.2.1 [Exspect\\_multigauss](#)

Предварительные параметры гауссиан (амплитуда, координата центра и полуширина) сохраняются. Экстракция спектров осуществляется в 2 итерации.

1 итерация – для каждого значения длины волны:

Профиль в интервале  $y_{min} - 10, y_{max} + 10$ , где  $y_{min}$ ,  $y_{max}$  минимальное и максимальное значение координат центров гауссиан, аппроксимируется гауссианами, с предварительным положением центров и `fwhm`, с помощью процедуры `multigauss` (Moiseev 2002).

После первой итерации массивы центров и полуширин аппроксимируются полиномами третьей степени. Для контроля аппроксимации создаются файлы: `obj_cent_k.ps` в которые для каждого объекта записывается зависимость положения центра от длины, ошибка определения центра и аппроксимирующий полином, `obj_fwhm_k.ps` в которые для каждого объекта записывается зависимость `fwhm` от длины волны, ошибка аппроксимации гауссианой и аппроксимирующий полином.

2 итерация – для каждого значения длины волны:

профиль в интервале  $y_{min} - 10, y_{max} + 10$  аппроксимируется гауссианами с предварительными положениями центров и полуширинами, полученными как значения соответствующих аппроксимирующих полиномов в данной точке.

Зависимость потока от длины волны (спектр) для каждого объекта сохраняется в файлы `obj_spect_k.fts` – где  $k=0, m-1$ ,  $m$  – число гауссиан.

---

<sup>4</sup> $n$  обозначено как “Number stars” и задается в этом же окне, по умолчанию равно 6.

Для контроля экстракции создаются файлы `obj_multi_lambda`, где `lambda` – длина волны.

Кроме того, проследить за построением фона (если выбран режим “Smooth background”) можно если посмотреть файл `mult_fon.mpg`

### 6.3 Процедура Color\_spect

Процедура `Color_spect` предназначена для определения звездной величины в различных фильтрах (U,B,V,R) по данному спектру. Кривые пропускания фильтров в табличном виде хранятся в директории “filters”.

## 7 Changing auxiliary parameters. Изменение дополнительных параметров

Можно изменить некоторые параметры обработки, открыв окно “Changing auxiliaries” (10 на [рис. 2](#)). А также в данном окне ([рис. 7](#)) можно включить/выключить флаги.

Параметры, которые можно изменить:

- `thresh` (используется на [первом этапе](#) при удалении следов космических частиц)
- `wdqe` (используется на [шестом этапе](#) – размер окна, с которым сглаживается кривая спектральной чувствительности),
- величина `overscan` (используется на [первом этапе](#) при обрезании `overscan`). Значений `overscan` два, первое соответствует ширине (в пикселах) несканируемой полосы по X-координате, второе – ширине полосы по Y. Положительные значения `overscan` соответствуют обрезанию левого и верхнего краев кадра, отрицательные – правого и нижнего.

## 8 Creation of Identification Chart. Создание карты окрестностей

Создать карту окрестностей, на которой будет отмечен позиционный угол РА и положение щели, можно нажав на кнопку “Region map” (15 на [рис.2](#)). Позиционный угол  $PA_{slit}$  рассчитывается по формуле  $PA_{slit} = P2 - P_{table} + 132.5$  еще на [первом этапе обработки данных](#) и записывается в заголовок fts-файла как “POSANG”. В заголовке исходного fts-файла записаны только  $P2$  как ‘PARANGLE’ и  $P_{table}$  – ‘ROTANGLE’. Отметим, что позиционный угол на кадре будет соответствовать экспозиции `map` (которая используется при построении карты), а положение щели указывается в соответствии с ключом “SLITPOS” в `logfile`.

## 9 Determination of New Grism. Определение новой дифракционной решетки

Для некоторых данных (снятых на решетке, для которой еще нет таблицы, или при плохо закрепленной решетке) лучше создавать новую таблицу. Для этого: На-

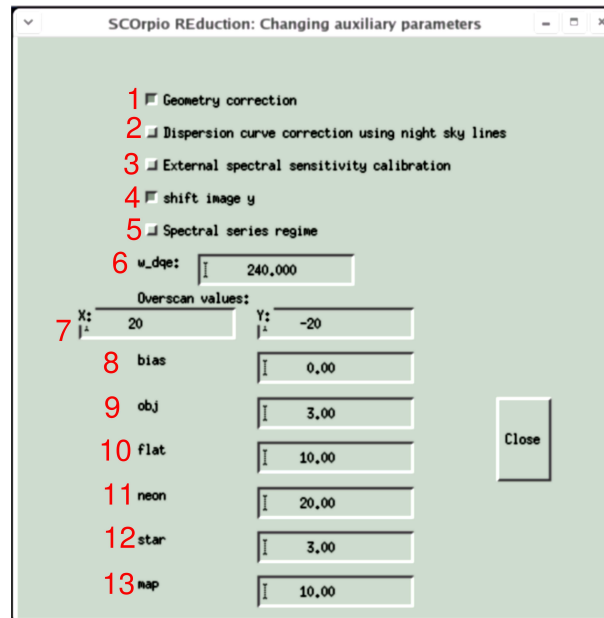


Рис. 7: окно изменения дополнительных параметров. 1-5 —включение/выключение флагов, 1 – исправление геометрии (включен по умолчанию), 2 – исправление дисперсионной кривой по линиям ночного неба, 3 – использование кривой спектральной чувствительности, посчитанной независимо, 4 – сдвиг изображений по Y (включен по умолчанию), 5 – создание кубов спектральной переменности; 6 – изменение параметра `w_dqe`, 7 – изменение значений `overscan`, 8-13 – значения `thresh` для разных видов экспозиций, используемые при удалении следов космических частиц

жмите на кнопочку "New grating", перед Вами появится окно со списком файлов, выберите файл neon.fts. Затем появится окно, в котором нужно записать имя новой решетки (имя может быть любым). После этого появится окно со спектром NEON, наведите курсор мыши на нужную линию, нажмите правую кнопку мыши один раз, в маленькое окно "wavelength slot" напишите точную длину волны, для удобства вместе со спектром калибровочной лампы появляется список наиболее ярких линий, из которого нужную длину можно просто скопировать в окошко "wavelength slot". После этого наведите курсор мыши на следующую линию. Если Вы какую-то линию отметили неверно – Вы можете с помощью кнопки RESET удалить это неверное значение. После отождествления спектра нажмите кнопку "OK". Для прекращения отождествления нажмите кнопку "Abort".

## 10 Features and Bugs. Возможные проблемы

Не смотря на многократную проверку работы пакета ScoRe на самых разных данных, проблемы могут возникнуть. Вот наиболее распространенные причины возникновения сбоев в работе и способы борьбы с ними.

- Ошибки в записи logfile
  - Если программа не работает проверьте logfile. Просмотрите все ли файлы присутствуют в директории, верно ли прописаны пути.
- Нехватка свободного места на диске
- Разные размеры изображений или неправильный формат

На каждом этапе создаются файлы, с помощью которых легко контролировать работу (Таблица 1).

- После первого этапа обратите внимание на файл obj\_i.ps. В этом файле на верхней панели показано изображение, почищенное от следов космических частиц, на нижней — то, что было прянято за следы космических частиц.

Обратите внимание на спектр точечного объекта, эмиссионные линии объекта и ночного неба. Иногда происходит "зарезание" объекта — линии в спектре объекта удаляются как следы космических частиц, в таком случае увеличьте параметр thresh (см. подробнее [раздел](#) . Если не все частицы были удалены с изображения, уменьшите параметр thresh.

- После второго этапа можно проследить за исправлением геометрии по файлу neon\_warp.ps. На верхней панели показан спектр neop с неисправленной геометрией, на нижней – с исправленной. Особенное внимание обратите на линии, расположенные на краю диапазона. Если геометрия исправлена плохо, поменяйте параметры X\_pos и Y\_pos (обозначены 6 и 7 на [рис. 2](#)). Если считывалась узкая полоска вблизи объекта (из-за чего линии выглядят почти прямыми), обычно помогает уменьшение Y\_pos.

Таблица 1: Список основных этапов обработки и файлов, создаваемых на каждом этапе

Этап обработки	Индекс файлов	Проверочные файлы
Mean bias cosmic removal	<code>_i</code>	<code>obj_i.ps</code>
Geometry correction	<code>_ic</code>	<code>neon_warp.ps</code>
Dividing over flat field	файлы без индекса	
Dispersion curve	<code>2D_coeff.fts</code>	<code>neon.ps</code> , <code>neon_poly.ps</code>
Linearisation	<code>_lin</code>	
Spectral sensivity normalisation	<code>_norm</code> , <code>sent.fts</code>	<code>dqe.ps</code>
Dispersion direction adjustment	<code>_norm_1</code>	
Error frame calculation		
Spectrum extraction	<code>_spec</code>	<code>obj_spec_cent.ps</code> , <code>obj_spec_fwhm.ps</code>

- После четвертого этапа посмотрите файл `neon.ps`. Обратите внимание, как отождествлены линии в спектре HeNeAr, сравните его со спектром для данной решетки, приведенном в описании к SCORPIO. Также можно посмотреть дисперсионную кривую `neon_poly.ps`. Вертикальные линии на данной кривой соответствуют ошибкам построения дисперсионной кривой, увеличенным в 100 раз. Если дисперсионная кривая загибается на краях диапазона – попробуйте построить дисперсионную кривую в ручную.
- Для проверки линейаризации рекомендуется использовать линии неба, такие как [OI] $\lambda$ 5577,6300,6364. Проверить линейаризацию в красной части спектра можно используя спектр ночного неба.
- Для проверки нормировки на спектральную чувствительность посмотрите файл `DQE.ps`, кривая спектральной чувствительности должна идти плавно. Если на кривой наблюдаются горбы размером 100 Å измените параметр `wdqe` (см. [раздел](#)).

Наилучшим тестом, показывающим правильность обработки, является экстракция (после 6-го этапа) спектра звезды-стандарта из `starslit_norm.fts` и сравнение полученного спектра со стандартным спектром (имя файла). Если в при обработке использован спектр звезды-стандарта, снятый в маске, спектры могут отличаться по потоку приблизительно в  $1.5 \div 2$  раза из-за потерь на щели. Но ход спектров должен совпадать (за исключением, возможно, голубой (за 4000Å) области спектра).

## 11 References. Литература

## Список литературы

Оке J.B. 1990, ApJ, 99, 1621

Афанасьев В. Л., Моисеев А.В. Универсальный редуктор светосилы SCORPIO: Руководство пользователя, САО, 008