

**ОБРАБОТКА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ
ОПТОВОЛОКОННОГО СПЕКТРОГРАФА ВЫСОКОГО
РАЗРЕШЕНИЯ **FFOREST****

Галазутдинов Г.А.

2022 - 2025

Инструменты

Для работы понадобится пакет программ **DECH** (<http://www.gazinur.com/setup-xp.zip>) и любой файловый менеджер, например,

Total Commander (<https://www.ghisler.com/download.htm>) или
Far Manager (<https://www.farmanager.com/download.php?l=ru>).

Все программы бесплатные или условно бесплатные.

Инсталляция DECH

Программу DECH можно установить на любую версию Windows. Как правило, **DECH** нормально работает в эмуляторах **Windows** для операционных систем **Linux** и **Mac OS**. Но **Windows** все же предпочтительнее.

После распаковки архива с установочным набором файлов (**setup-xp.zip**), необходимо запустить **setup.exe**

Если вы обновляете **DECH**, т.е. пакет уже был установлен ранее, сначала надо деинсталлировать старую версию и затем запустить **setup.exe** еще раз. Следуйте указаниям программы.

После установки необходимо добавить в переменную среды окружения **PATH** название каталога, в котором установлен пакет DECH. Как это сделать (в **Windows**) :

Открываем **Поиск**, и вводим **env**. В новом окне выбираем **“Изменить переменные среды для своей учетной записи”**:

Выбираем кнопку **“Переменные среды...”**.

В секции **“Системные переменные”** (нижняя половина окна), находим строку **“Path”** в первой колонке, и нажимаем **“Редактировать”**. Появится окно **“Редактировать переменные среды”**.

Добавляем название каталога, в котором установлен пакет **DECH**, например **C:\Program Files(x86)\Dech**

Перезагружаем компьютер. Теперь программы пакета **DECH** доступны для запуска с командной строки из любого каталога файловой системы.

Подготовка данных

Полученные спектры следует распаковать так, чтобы спектры, полученные за одну наблюдательную ночь, в одной и той же конфигурации спектрографа, были размещены в отдельных каталогах. Ниже рассмотрим обработку спектров одной ночи.

Создание superbias

Сначала перемещаем все изображения **bias** в отдельный каталог

```
mv2dirs OBJECT bias *.fts
```

Прежде чем создавать среднее, рекомендуется удостовериться что все изображения примерно идентичны по уровню сигнала. Выполним следующую команду:

Crosscut *.fts x txt

Будет создан каталог **txt** с текстовыми файлами, каждый из которых является одной строкой (или столбцом, если в команде вместо **x** указать **y**) соответствующего изображения. Перемещаемся в каталог **txt** и выполняем команду

Dech-fits *.txt

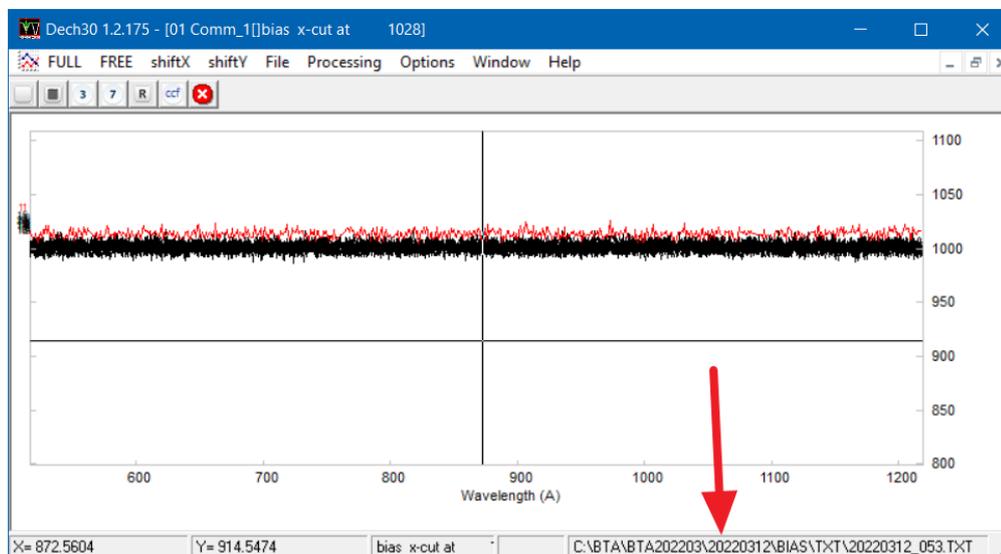


Рисунок 1 Разрезы изображений bias

В белом окне программы Dech-fits можно увидеть (см. Рис. 1), что одно из изображений (а именно 20220312_053) имеет уровень накопления, слегка отличающегося от одного у остальных изображений. Может быть полезным удалить это изображение, прежде чем выполнять усреднение командой **Zeroc**. Удалить «плохое» изображение из рассмотрения можно прямо из «белого» окна программы dech-fits. Для этого надо активировать (левой кнопкой мыши или перебором, с помощью клавиш «стрелка вверх» и «стрелка вниз») разрез, соответствующий «плохому» изображению, затем щелкнуть правой кнопкой мыши. В выпавшем меню выбрать опцию “**Delete Active Dataset & Mark Image as Bad**”. В каталоге BIAS будет создан каталог BAD в который будут перемещены изображения (вместе с текстовыми файлами), помеченные нами как «плохие». Подобную пре-селекцию рекомендуется делать перед любым усреднением изображений. Например, при получении среднего «плоского поля».

Теперь возвращаемся в каталог BIAS и создаем очищенное усредненное изображение superbias – файл Zero.fits

Zeroc *.fts 3

Итак, командой **zeroc** создан superbias **Zero.fits**. Перемещаем этот файл ко всем остальным изображениям, т.е. на один уровень выше в дереве каталогов.

Теперь вычитаем superbias из всех остальных изображений – программа **Sub** вычитает **Zero.fits** из всех изображений *.fts текущего каталога:

Sub *.fts

Будут созданы новые файлы вида *sub.fits. Исходные файлы можно удалить вместе с superbiasом – они нам больше не понадобятся:

Del *.fts

Del Zero.fits

Обрезка краёв

В текущей конфигурации спектрографа (до готовности основной камеры используется временная, с ограниченными возможностями) значительная часть изображений не содержит полезного сигнала:

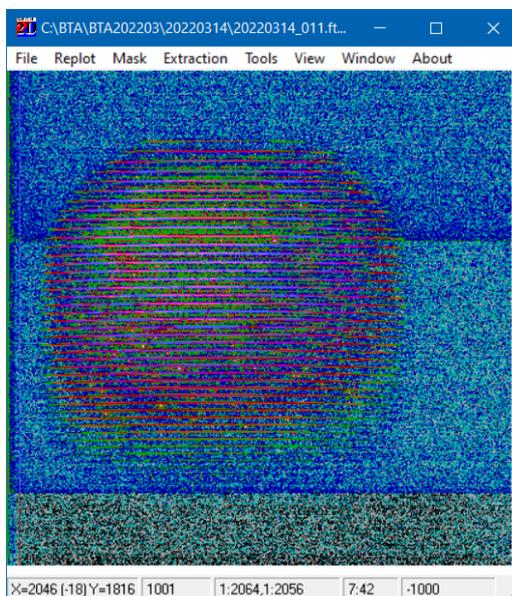


Рисунок 2 Одно из спектральных изображений. Показано в пятикратном сжатии (**Window/Set Step** для обеих координат установлено 5 (см. Рисунок 7)). Видно большое свободное пространство вокруг спектра.

Поэтому обрезаем не информативную часть изображения:

trim 124 1633 266 1790 *.fits

В команде **trim** указаны координаты x1 x2 y1 y2 актуальные по состоянию на май 2022 года. Исходные изображения будут переименованы в файлы с расширением ***.old**. Можно их удалить (например, командой **del *.old**).

Результат:

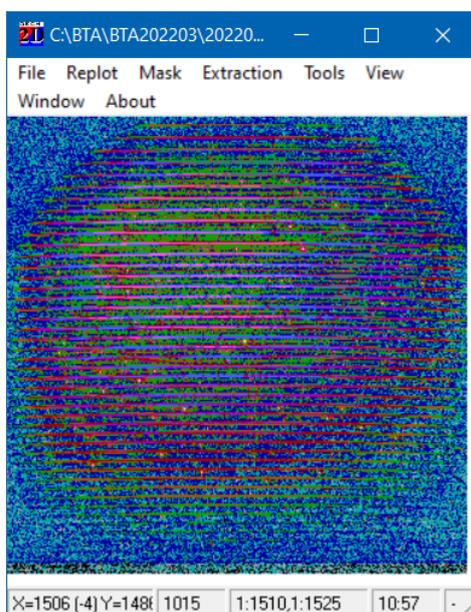


Рисунок 3. Изображение с обрезанными неинформативными краями.

Создание усреднённого плоского поля

Перемещаем изображения плоского поля в отдельный каталог:

Mv2dirs OBJECT flat *.fits

И переходим в каталог **FLAT**. Проверяем что все изображения имеют одинаковый уровень накопления:

crosscut *.fits y txt

и переходим в каталог TXT. Выполняем команду:

dech-fits *.txt

и видим, что уровень накопления примерно одинаковый у всех изображений:

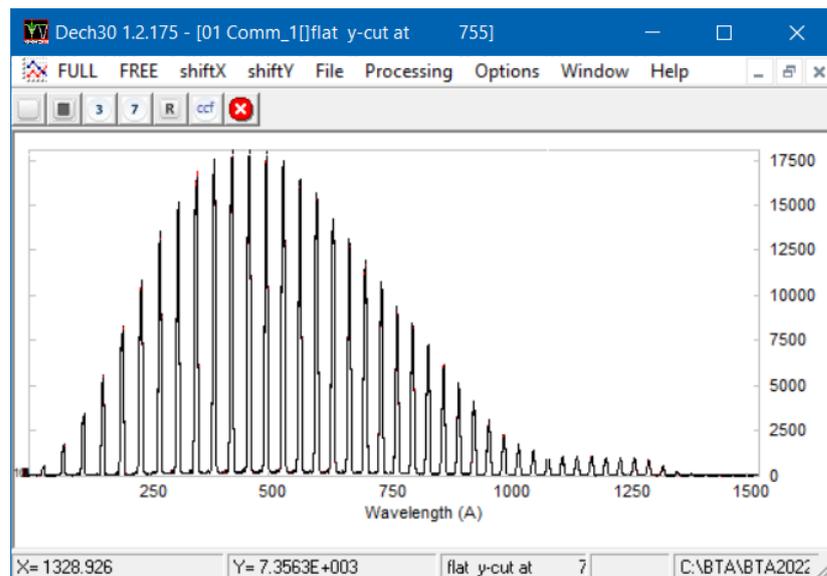


Рисунок 4 Разрез изображения поперек дисперсии. Каждый пик соответствует одному спектральному порядку эшелле-спектра.

Если это не так, “отскакивающие” изображения следует убрать из рассмотрения как это было сделано для изображений «bias». Возвращаемся в каталог с изображениями **FLAT** и, выполняем команду:

zeroc *.fits 3 FF.fits

Файл **FF.fits** переносим в основной каталог с изображениями (т.е. на уровень выше) и переходим к этапу экстракции спектров (векторов) из изображений.

ЭКСТРАКЦИЯ

Создание маски

Маска – это либо таблица, либо набор аппроксимирующих функций (обычно, полиномы низкого порядка), определяющих положение и кривизну порядков спектрального изображения. У оптоволоконного спектрографа БТА каждый порядок расщеплен на 2 суб-порядка. В каждый суб-порядок может поступать сигнал от разных источников света. Например, в первом суб-порядке регистрируется спектр звезды, а во втором – спектр лампы для калибровки длин волн (обычно с линиями тория и аргона – в дальнейшем **ThAr**).

Наша задача – определить положение спектральных порядков. Для этого будем использовать спектр плоского поля **FF.fits**, поскольку в нем виден только один субпорядок, что упрощает автоматизацию процесса.

Выполняем команду **Dech95 ff.fits**:

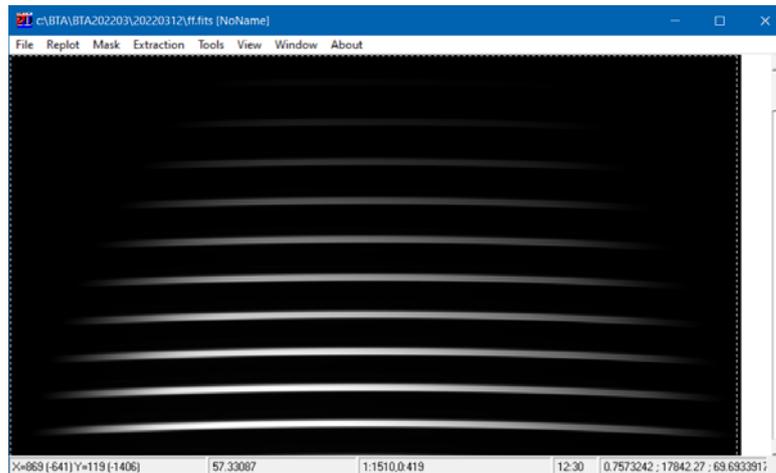


Рисунок 5 Изображение плоского поля в режиме ч/б.

Спектральные порядки должны быть ориентированы горизонтально. Если это не так, проверьте параметры загрузки изображений (**File/Load Image**). Должно быть так, как показано на рисунке:

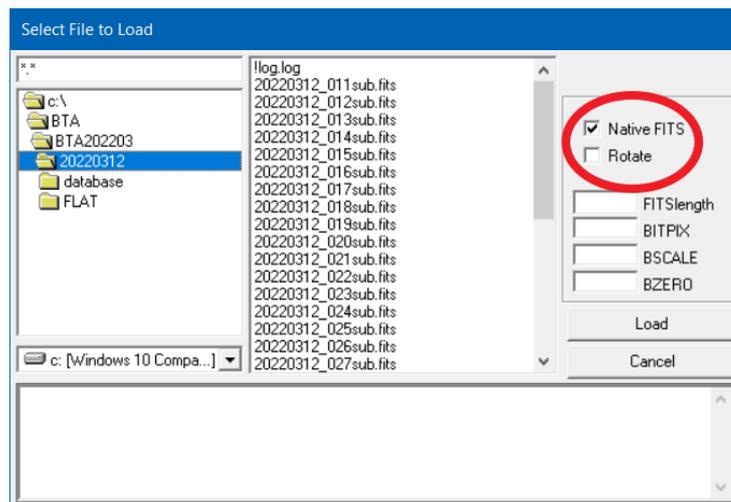


Рисунок 6 Параметры загрузки для изображений оптоволоконного спектрографа БТА высокого разрешения.

Убедитесь, что параметр **Native FITS** включен, а параметр **Rotate** – выключен.

Другие полезные параметры, связанные с визуализацией:

1. **Window/Set Step** – позволяет увеличить или уменьшить масштаб изображения. Рекомендуется установить горизонтальную шкалу так, чтобы был виден весь порядок без скроллинга изображения. Вертикальную шкалу можно оставить без изменений. В случае монитора Full-HD и матрицей ПЗС спектрографа по состоянию на май 2022 параметры следующие:



Рисунок 7. Параметры визуализации изображения.

2. Шкала интенсивностей может быть линейной или логарифмической. Обычно используется черно-белая линейная шкала с 256 градациями серого:

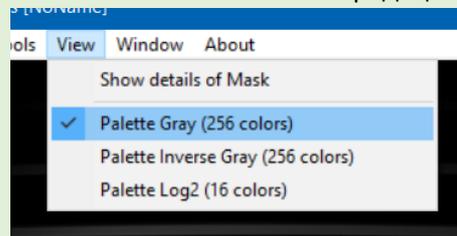


Рисунок 8 Выбор метода визуализации (палитры).

Для большей детализации того или иного фрагмента изображения необходимо выделить этот фрагмент с помощью мыши: поместить курсор мыши в левый верхний угол желаемого фрагмента, нажать левую кнопку мыши и, держа ее нажатой, отвести мышь вниз и вправо. Построить таким образом прямоугольник, обрамляющий нужный фрагмент и отпустить кнопку мыши. Щелкнуть мышью по надписи **Replot**.

Для входа в процедуру создания маски выбираем **Mask/Create**. Появится небольшая панель с дополнительными параметрами для построения маски (все параметры на рисунке оптимальны для конфигурации оптоволоконного спектрографа по состоянию на май 2022):

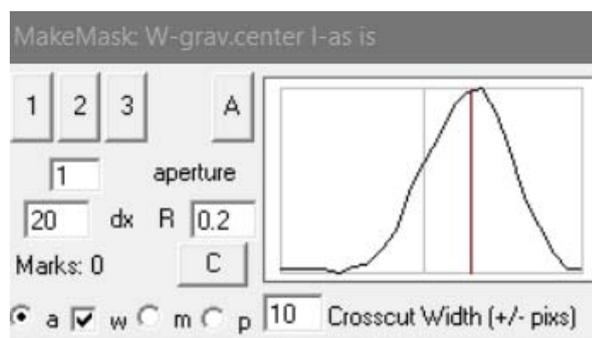


Рисунок 9 Параметры режима построения маски.

Параметры панели. Кривая в правой части панели представляет собой разрез изображения в направлении, перпендикулярном направлению дисперсии (т.е. по вертикали) с центром в том месте, где находится. Длина разреза определяется параметром **Crosscut Width** – в данном случае это 10 пикселей. Т.е. длина всего разреза 21 пиксель – центральная точка плюс по 10 пикселей вниз и вверх от позиции курсора. Данный параметр очень важен при автоматическом поиске спектральных порядков. Следует выбирать его таким образом, чтобы, во-первых, длина разрез

позволяла видеть любой порядок по всей его ширине, т.е. параметр не должен быть слишком маленьким. Во-вторых, параметр не может быть слишком большим: в любой части изображения, в т.ч. там, где порядки располагаются наиболее тесно, не должно быть видно более одного порядка. Например, на рисунке внизу, параметр **Crosscut Width** слишком мал, т.к. порядок не виден полностью по ширине:

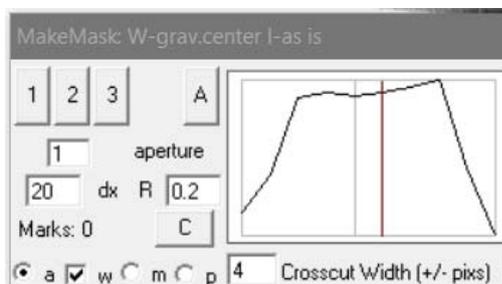


Рисунок 10 Пример слишком короткого вертикального разреза (**Crosscut Width 4**)

На следующем рисунке этот параметр, напротив, слишком велик – в разрезе видно более одного порядка:

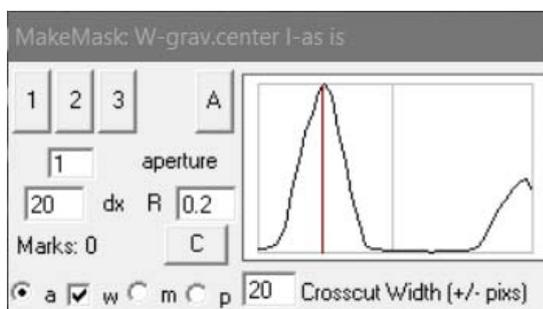


Рисунок 11 Пример слишком длинного вертикального разреза (**Crosscut Width 20**)

В нижней части панели находится зона выбора режима построения маски: **a** – полуавтоматическая (маска строится вручную для верхних 2х порядков – остальные программа найдет автоматически), **m** – полностью ручное построение маски, **p** – поляриметрический спектр. Параметр **w** на рисунке «включен». Это означает что в автоматическом режиме центр порядка определяется не по максимальному уровню сигнала, а по гравитационному центру всего вертикального разреза. На панели гравитационный центр показан красной линией. Серая линия соответствует положению курсора.

Кнопка **C** позволяет удалить существующие реперы, количество которых показывает параметр **Marks**. На рисунке он равен 0.

Параметр **dx** (на рисунке он равен 20) определяет расстояние между соседними реперами при автоматическом определении положения порядков.

Параметр **R** от слова ratio (на рисунке он равен 0.2, т.е. 20%) определяет границы порядков вдоль дисперсии. Сначала программа находит положение порядков в центральной части изображения, где уровень сигнала максимальный. Приняв этот уровень за 100%, программа двигается вдоль порядка влево и вправо, расставляя реперные точки с шагом **dx** (см. предыдущий пункт). Также программа оценивает уровень сигнала в каждой реперной точке. Если уровень сигнала ниже критерия **R** (в нашем случае это 20% от максимума), поиск положения порядка заканчивается.

Параметр **aperture** (на рисунке равен 1) определяет границы интегрирования (ширину) порядка при экстракции. В режиме построения масок не играет роли.

Кнопки **1, 2, 3** это степень аппроксимирующей кривой. Соответственно линейная, параболическая и гиперболическая аппроксимации существующих реперов. Используется для построения кривой, описывающей положение порядка при ручном и полуавтоматическом режиме.

Кнопка **A**. Автоматическое определение положения порядков. Для оптоволоконного спектрографа БТА используем этот вариант.

Нажимаем кнопку **A**:

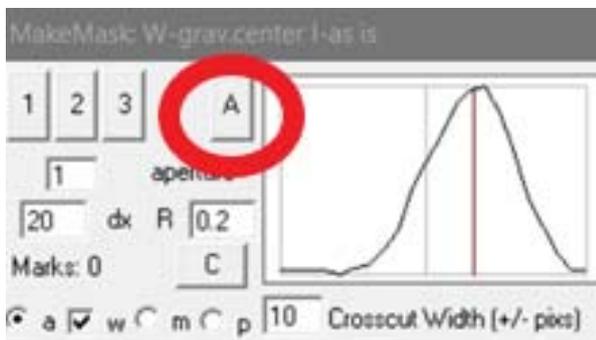


Рисунок 12 Пример оптимального вертикального разреза (**Crosscut Width 10**). Помечена кнопка **A** для входа в процедуру автоматического построения маски.

В появившемся окне видим разрез изображения точно по центру (см. параметр **Ycut**). Ниже показан увеличенный фрагмент разреза. Размер фрагмента 10% всей кривой. Если щелкнуть мышью по параметру **Zoom**, размер фрагмента можно изменить. Ниже виден ползунок, позволяющий рассмотреть в увеличенном виде любой фрагмент размера. Итак, разрез сделан точно по центру изображения (в нашем случае это **795**-ый столбец изображения). Можно сделать такой разрез через любой другой столбец – достаточно щелкнуть мышью по надписи **Ycut**.

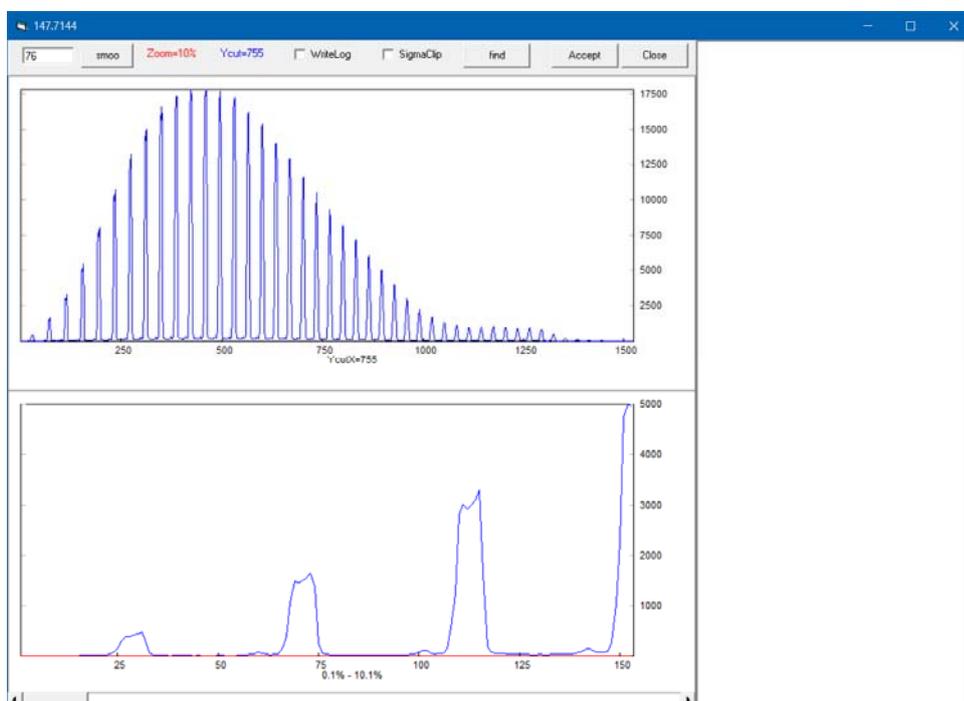


Рисунок 13 Начальное окно процедуры автоматического построения маски

Теперь нажимаем на кнопку **find**. Программа будет искать все изолированные пики с интенсивностью выше нуля. Однако, если, по какой-либо причине спектр находится в области отрицательных значений или обычный способ не работает, можно попробовать **Альтернативный способ**:

Альтернативный способ. Нажимаем кнопку **Smoо**. Это сглаживание по 76 точкам (параметр 76 можно изменить). Сглаженная кривая показана красным:

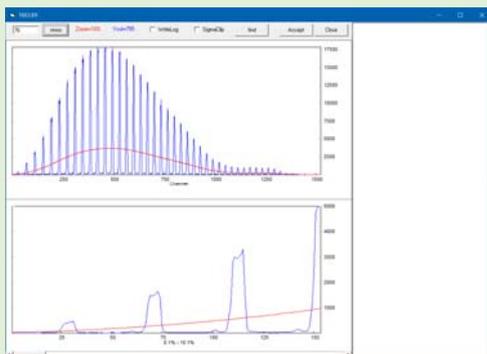


Рисунок 14. Вертикальный разрез изображения и его сглаженная кривая. Поиск порядков будет осуществляться по той части синей кривой, которая выше сглаженной (красной) линии.

Алгоритм поиска спектральных порядков следующий: программа находит все области оригинального спектра (синяя кривая), находящиеся выше сглаженного, затем определяет *центр тяжести* каждой такой области, каковой и считается центром порядка.

Итак, для поиска порядков щелкаем мышью по кнопке **find**. В результате слева получим таблицу-список найденных порядков, где даны: **N** – номер порядка, **gC** – координаты центра порядка (gravity center), **EW** – интенсивность порядка в условных единицах, **width** – ширина порядка в пикселах, **dx** – расстояние между соседними порядками. На графиках слева видно множество вертикальных линий красного цвета, каждая из которых обозначает положение найденного спектрального порядка:

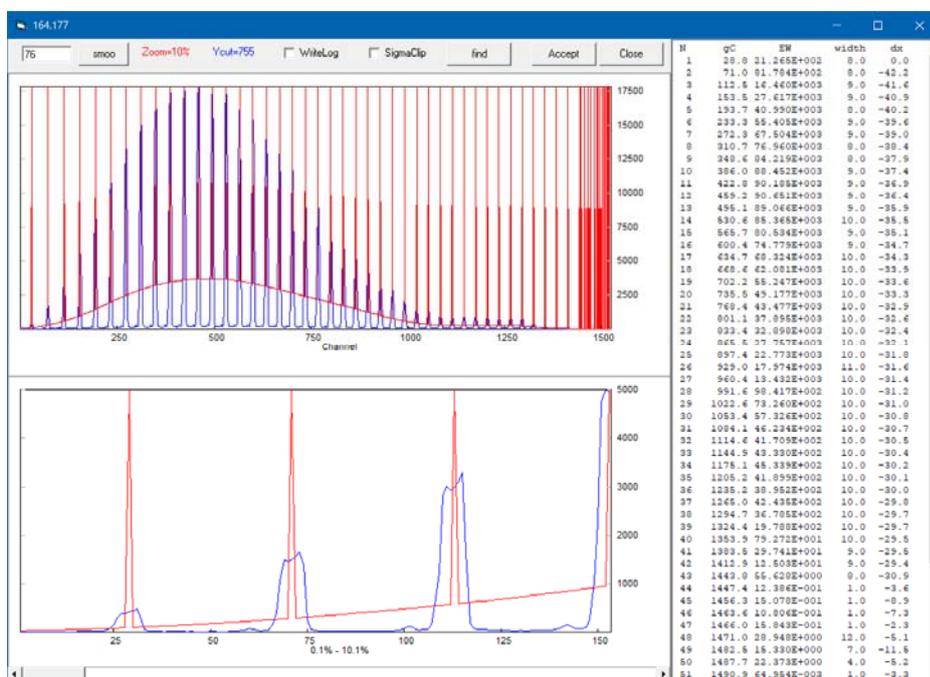


Рисунок 15 Найденные порядки. Справа видно много «мусора».

В правой части верхнего графика видно количество ошибочно найденных порядков. На нижнем графике можно увидеть эту область спектра более детально:

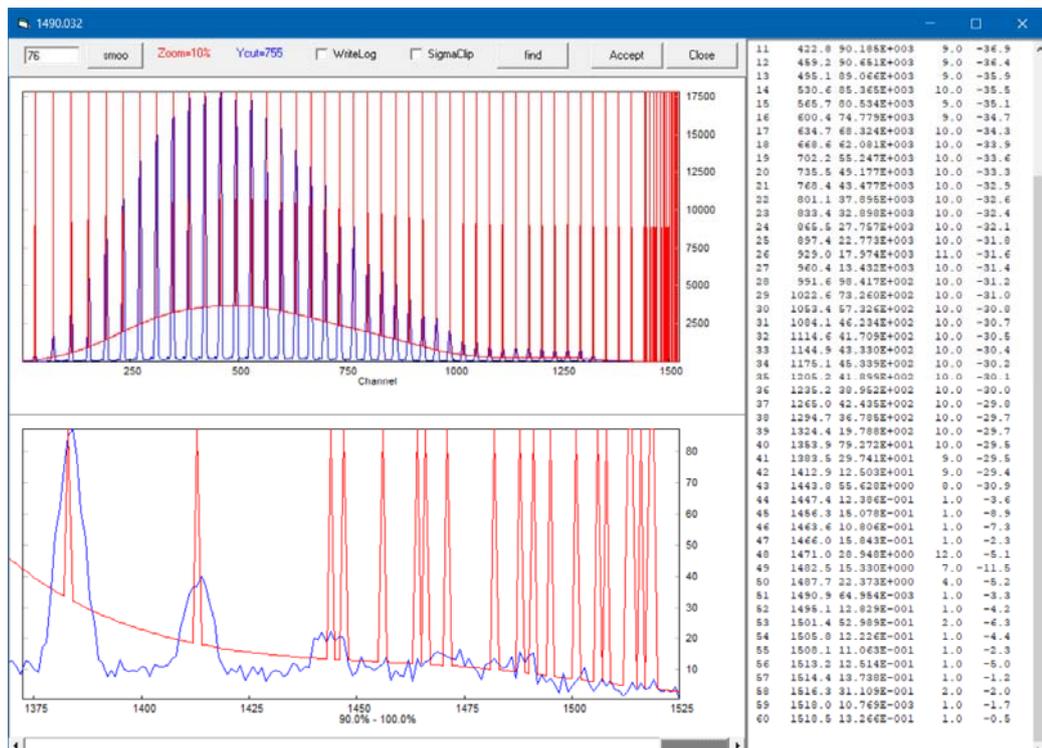


Рисунок 16. Детальное рассмотрение правой части спектра с ошибочно найденными «порядками».

При детальном рассмотрении видно, что из-за низкого отношения сигнал-шум в этой области спектра есть небольшие области выше границы, определяемой огибающей красной линией. Программа ошибочно принимает их за спектральные порядки. Есть два возможных решения: удалить ошибочные отождествления вручную – навести курсор на “неправильный” пик и нажать клавишу **Z** и, второй способ, более кардинальный – указать т.н. “мертвые” зоны с левого и правого края спектра. В этих зонах поиск спектральных порядков не осуществляется.

Для указания границы мертвой зоны необходимо активировать верхний или нижний график по выбору (для этого достаточно щелкнуть по ним мышкой), разместить курсор на месте предполагаемой границы и нажать клавишу **Y**. В нашем случае, воспользуемся нижним графиком, и установим границу примерно в районе 1439го пикселя:

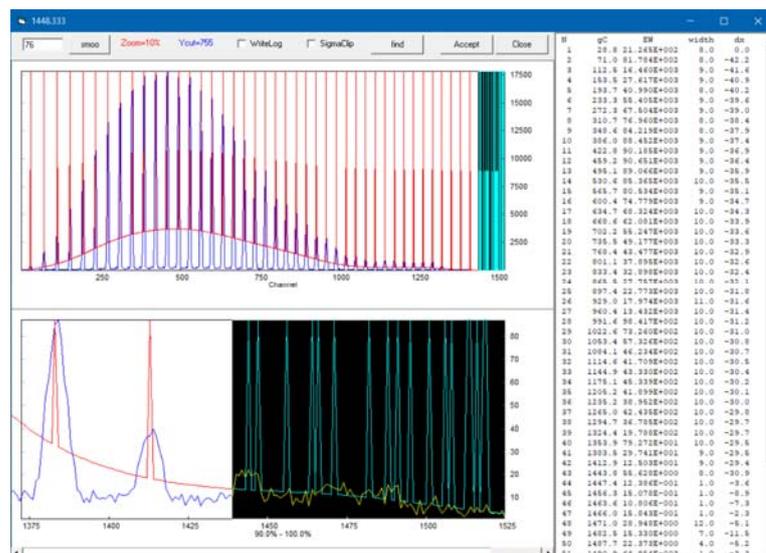


Рисунок 17. Установлена «мертвая» зона (залита черным).

Таким же образом можно установить «мертвую» зону в левой части спектра. Однако, в нашем случае в этом нет необходимости. Теперь снова нажимаем на кнопку **find** :

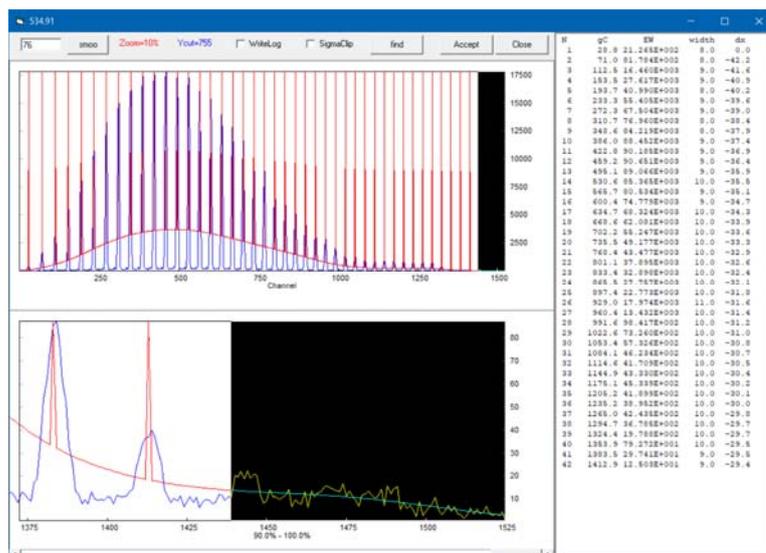


Рисунок 18 После нажатия кнопки **Find** «мусор» удален. В данном вертикальном разрезе найдено 42 порядка.

Обнаружено 42 порядка. На графиках и на таблице слева видно, что расстояние между порядками плавно уменьшается сверху-вниз от 42 до 29 пикселей. Ширина порядков варьируется от 8 до 11 пикселей. Нажимаем кнопку **Accept**. Окно с графиками и таблицей будет закрыто, программа вернется в окно с изображением и завершит поиск спектральных порядков.

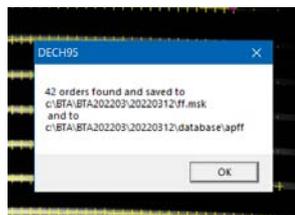


Рисунок 19 Завершение работы. Найдено 42 порядка по всей ширине изображения.

Закрываем это сообщение и выходим из процедуры построения маски с помощью **EndProcedure**. Полученная маска — это полуфабрикат, поскольку определены только положение и форма порядков, но не определены ширины порядков и положение меж-порядковых минимумов. Также необходимо определить метод учета рассеянного света. Переходим к редактированию маски.

Редактирование маски

Вход в процедуру **Mask/Edit**. Появится новое окно с «вертикальным» разрезом через центр изображения (Если щелкнуть мышью по надписи **CROSS CUT X=755**) можно сделать разрез через любой другой столбец изображения. На собственно изображении спектра (первое окно) будет видно положение спектральных порядков. Рекомендуется проверить правильность определения положения спектральных порядков по всему изображению путем скроллинга.

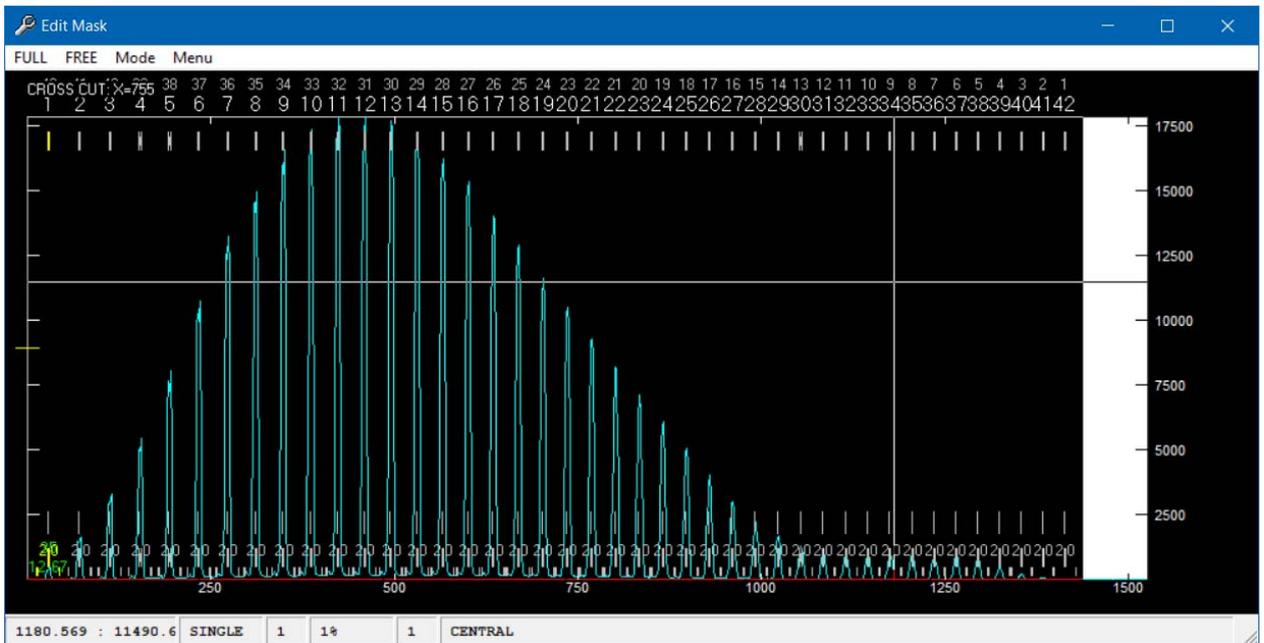


Рисунок 20 Окно редактирования маски. **FREE** позволяет рассмотреть фрагмент спектра более детально: выбрать **FREE**, затем указать левую и правую границы желаемого фрагмента щелчком левой кнопки мыши. **FULL** – показать весь спектр.

Возвращаемся в окно редактирования маски. Видно 42 спектральных порядка, оцифрованных в прямом и обратном порядке (мелким шрифтом). Первый порядок является «активным» и обозначен желтым цветом. Для активации того или иного порядка достаточно щелкнуть по нему курсором. Каждый порядок имеет 7 точек редактирования: центр, две зоны меж-порядковых минимумов слева и справа от порядка – каждая зона имеет левую и правую границы и, еще две регулируемые точки – границы собственно порядка:

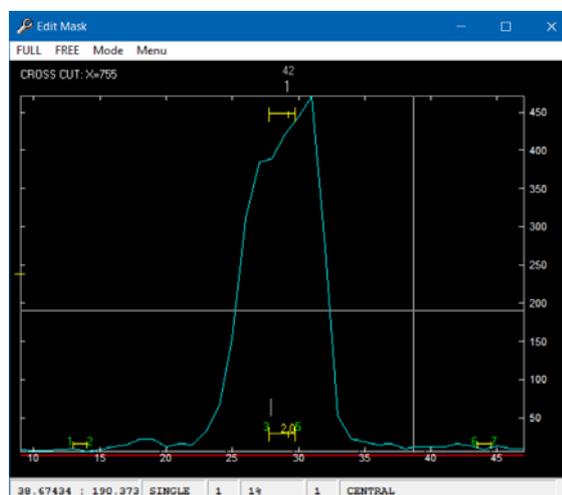


Рисунок 21 Активный спектральный порядок (зоны выделены желтым цветом).

Для изменения (перемещения) любой из вышеуказанных границ и/или центра порядка необходимо разместить курсор в желаемую точку и нажать клавиши от **1** до **7** (как указано на рисунке), где **1** и **2** – границы левой зоны меж-порядковых минимумов, **3** и **5** – левая и правая границы порядка (например, на рисунке 21 границы порядка установлены неверно – порядок существенно шире установленных границ), **6** и **7** – границы правой зоны минимумов. Клавишей **4** или **M** можно переместить весь порядок вместе со всеми зонами и границами (они привязаны к центру порядка). По умолчанию возможность перемещения порядка заблокирована. Для

разблокировки надо выключить соответствующий триггер **Mode/Do not move aperture (block "4" and "M" keys)**:

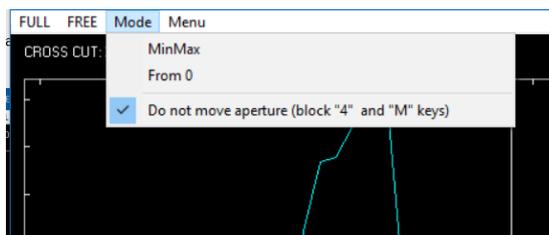


Рисунок 22 Триггер блокировки перемещения порядка – **Do not move.... MinMax** – границы графика по вертикали определяются по максимальному и минимальному значению показанного фрагмента (этот режим стоит по умолчанию), **From 0** – максимум вертикальной шкалы определяется по спектру, минимум установлен в 0.

Переходим к редактированию маски. Будем определять границы порядков и всех зон в автоматическом режиме. Последовательность действий:

1. **Menu/Move Backgr Zones to the middle (Ctrl-M)**. Перемещение зон меж-порядковых минимумов точно посередине между порядками. На вопрос о ширине зоны следует ввести 15.



Рисунок 23 ввод ширины зона меж-порядковых минимумов (в пикселях).

2. **Fit background (Crosscuts) (Ctrl+B)**. Аппроксимирование зон меж-порядковых минимумов огибающей кривой. По сути это определение уровня рассеянного света. В панели параметров следует установить следующее:

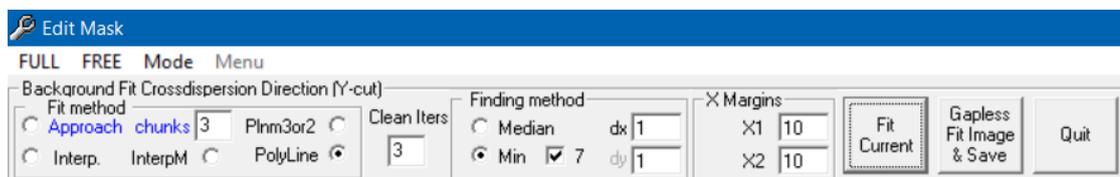


Рисунок 24. Параметры определяющие кривую рассеянного света поперек дисперсии.

И нажать кнопку **Fit Current**. Результат можно увидеть более детально, если установить предел интенсивностей (шкала по вертикали) ближе к уровню меж-порядковых минимумов:

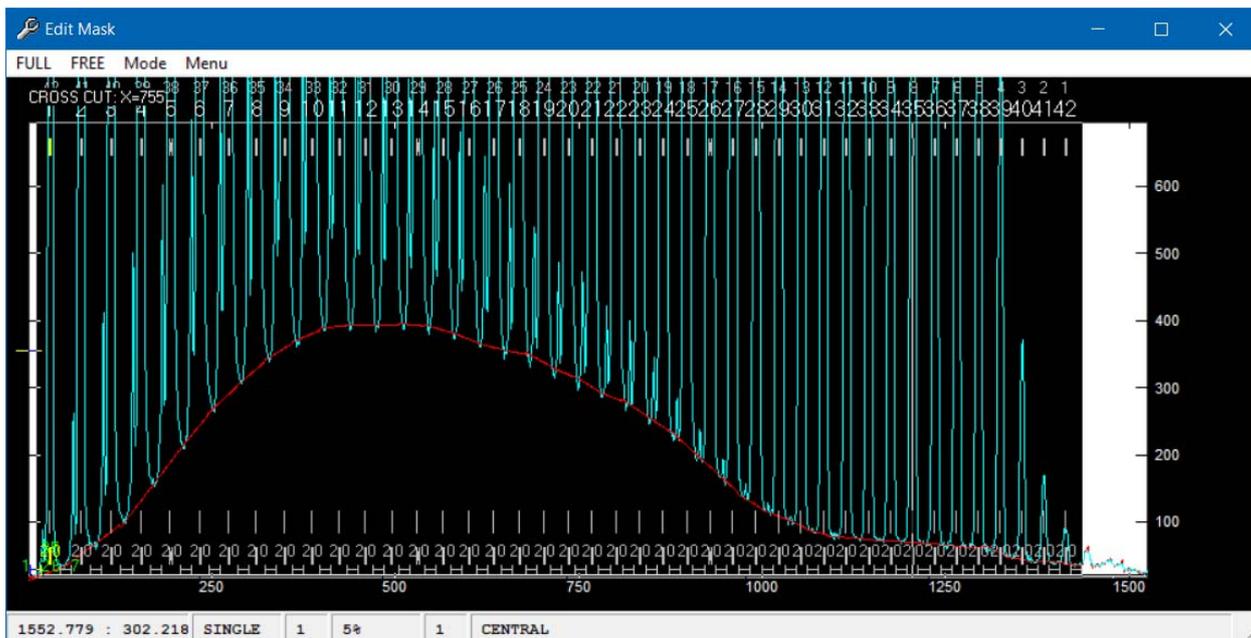


Рисунок 25 Результат аппроксимации меж-порядковых минимумов ломаной линией.

Для установки верхнего предела шкалы установите курсор на желаемый уровень предела и нажмите **Shift+T** (от слова top). Чтобы вернуться к первоначальному виду используйте **FULL**. С помощью сочетания клавиш **Ctrl+B** (от слова bottom) таким же образом можно зафиксировать нижнюю границу графика.

3. Коррекция границ спектральных порядков (ширины). **Menu/Resize Apertures (Ctrl+R)**. В качестве параметра введите 0.01. Чем меньше это число, тем шире будет порядок:

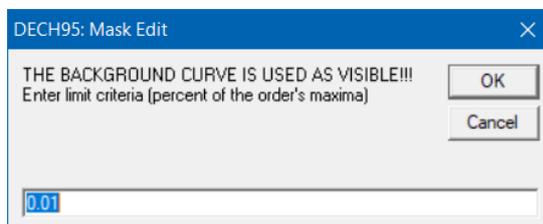


Рисунок 26 Параметр, определяющий ширину порядка функцией **Resize Apertures**.

Автоматическое определение ширины порядка может давать неоптимальный результат для порядков с плохим соотношением сигнал/шум (т.е. с низким уровнем накопления). Как можно увидеть на рисунке Рисунок 20 Окно редактирования маски. **FREE** позволяет рассмотреть фрагмент спектра более детально: выбрать **FREE**, затем указать левую и правую границы желаемого фрагмента щелчком левой кнопки мыши. **FULL** – показать весь спектр., это первые и последние порядки. Проверим их более детально:

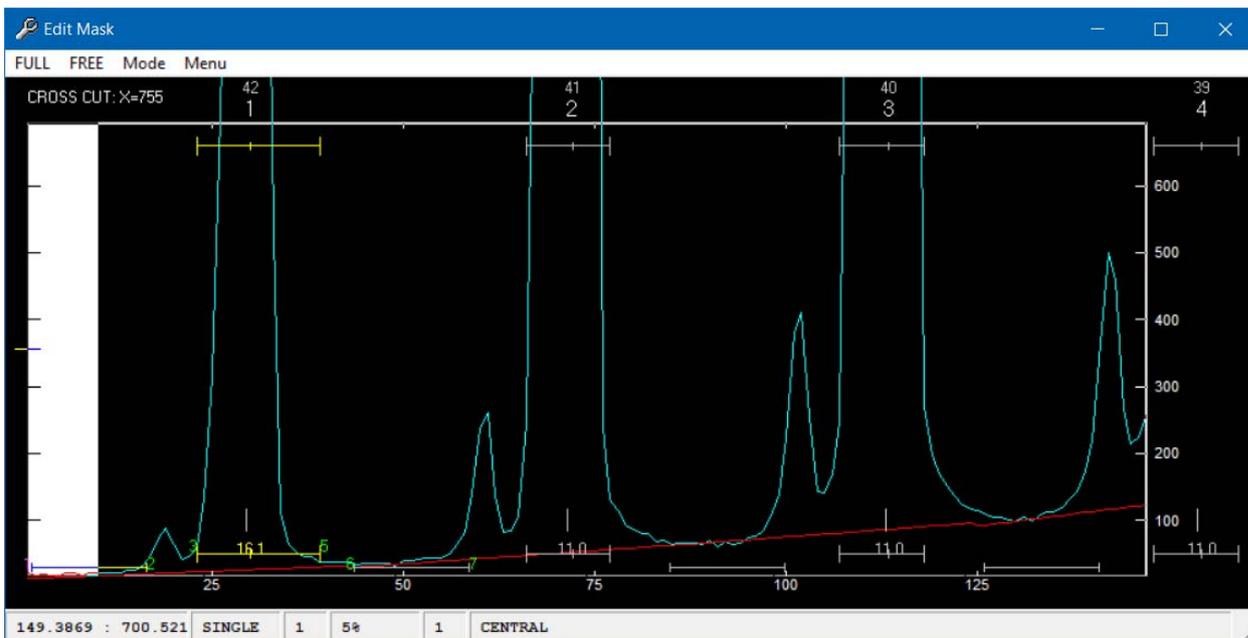


Рисунок 27 Первые три порядка. Видно, что границы первого порядка не оптимальны – захватывают области без полезной информации.

На рисунке Рисунок 27 видно, что маску первого порядка необходимо редактировать. Для это щелкнем по нему мышкой для активации (маркировка границ становится желтой) и, клавишами **3** (левая граница) и **5** (правая граница) переопределим его ширину. Таким же образом можно подправить правую границу порядка номер 2:

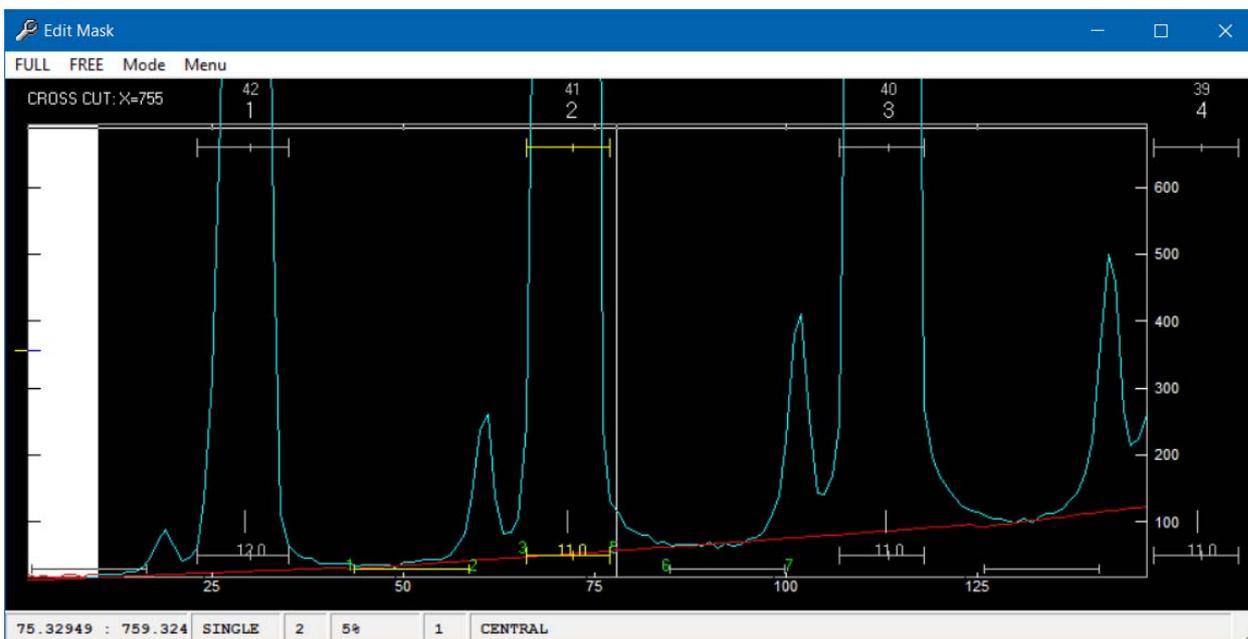


Рисунок 28 Ширины порядков 1 и 2 скорректированы. Второй порядок – активный.

Проверим последние порядки. На рисунке Рисунок 29 видно, что порядок номер 42 имеет не оптимальные границы.

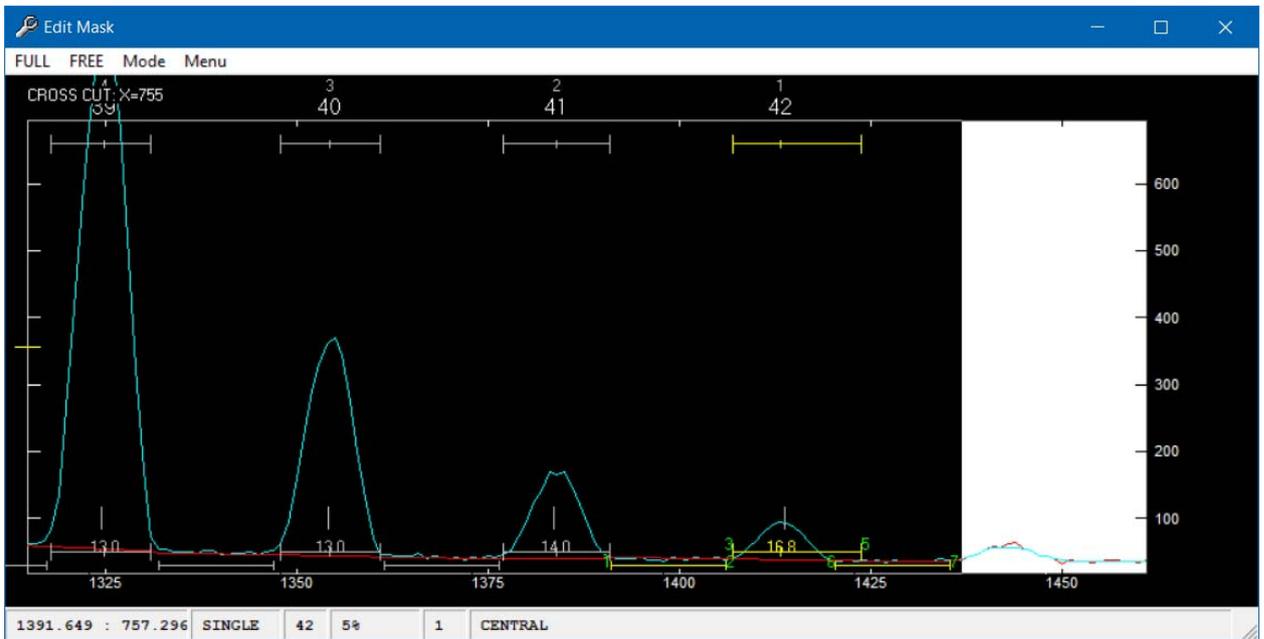


Рисунок 29 Последние порядки. Видно, что порядок 42 имеет не оптимальную ширину, особенно его левая граница.

Активируем порядок 42 щелчком мыши и корректируем границы клавишами **3** и **5**:

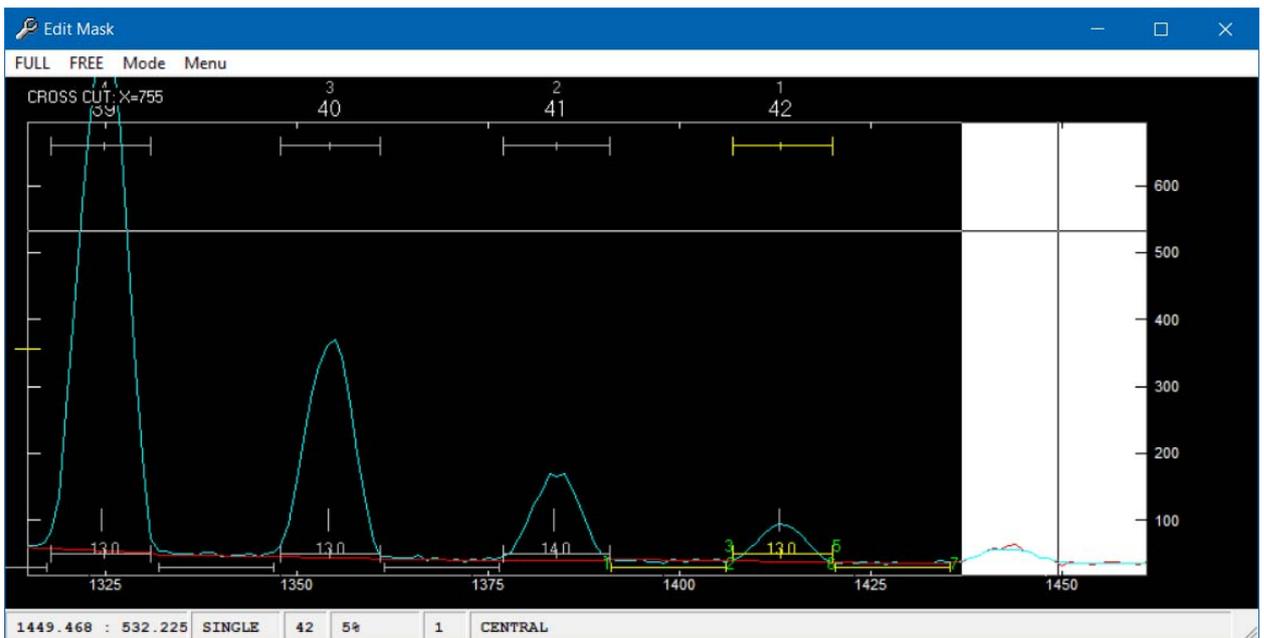


Рисунок 30 Порядок 42 активирован. Границы скорректированы.

4. Определение рассеянного света в направлении вдоль дисперсии. **Menu/Fit Background (Over Crosscuts) Ctrl+C**. Установите параметры как показано на рисунке и нажмите **Fit**:

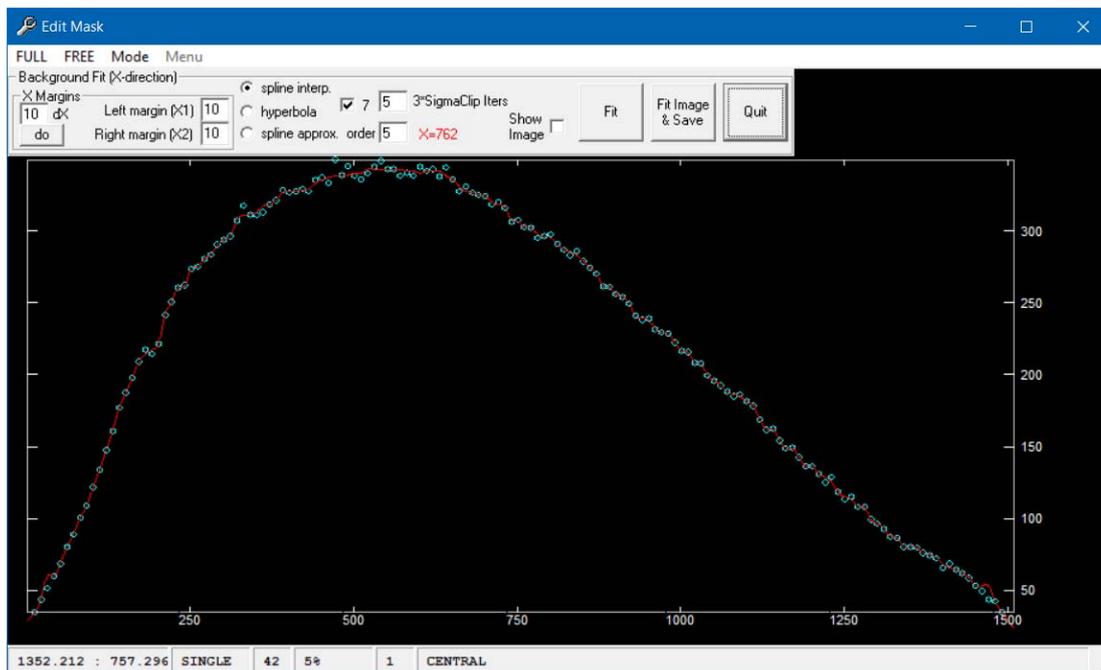


Рисунок 31 Параметры аппроксимации кривой рассеянного света вдоль дисперсии.

Возвращаемся в основное окно с помощью кнопки **Quit**.

5. Записываем созданную маску – **Menu/Save as IRAF-type mask**. Устанавливаем параметры как указано ниже (4 – степень полинома, описывающая кривизну порядков вдоль дисперсии, 2 – полином, аппроксимирующий меж-порядковые минимумы:

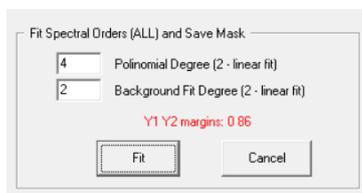


Рисунок 32 Параметры записи маски в формате IRAF

Нажимаем Fit:

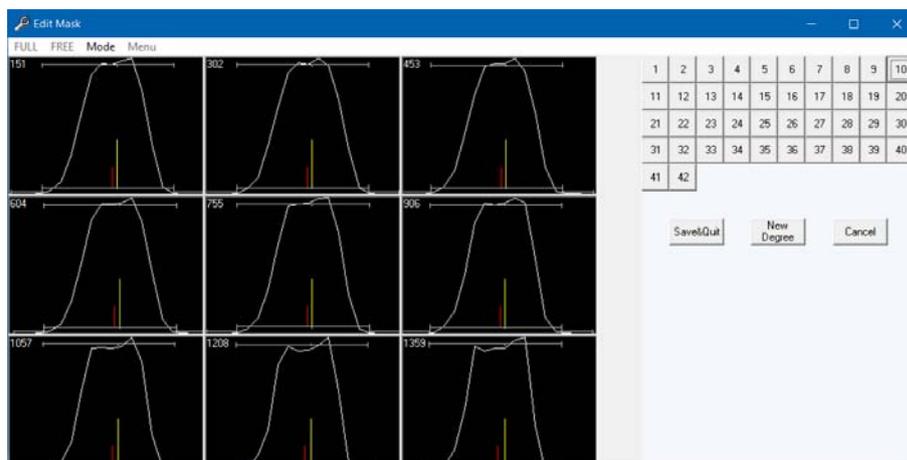


Рисунок 33 Окно контроля качества маски. На рисунке видим 9 поперечных разрезов порядка номер 10 (можно выбрать любой по соответствующей кнопке), сделанных с равным шагом по всей длине порядка. Желтая вертикальная линия указывает центральную кривую маски (регулируется клавишей 4 в окне редактирования, красная линия несет вспомогательную функцию и указывает на положение центра тяжести порядка.

В новом окне можно проверить качество созданной маски (см. подпись к рисунку 33). Для окончательной записи маски используем кнопку **Save&Quit**. Маска сохраняется в виде текстового файла в каталог **database**, который создается программой в каталоге с изображениями. Имя файла с маской основано на имени исходного файла и составляется следующим образом: берется базовое имя файла (т.е., в нашем случае, без расширения *.fits) и в начало имени добавляется **ap**, т.е. в случае изображения **FF.FITS** в каталоге **database** будет записана маска **apFF**. Этой маской можно пользоваться в системе обработки **IRAF**. После записи маски покидаем окно редактирования и возвращаемся в окно с изображением – **Menu/Finish**

6. Следует убедиться, что маска **apFF** подходит к изображениям спектров звезд. Сначала найдем спектр с самым высоким уровнем накопления. Проверка уровня накопления спектров также будет полезна для отбраковки некачественных спектров (с очень низким сигнал/шум или, наоборот, испорченных слишком длинной экспозицией (перенасыщенных)). Для этого возвращаемся в каталог с нашими спектрами и выполняем команду:

Crosscut *.fits y txt

Переходим в каталог **txt** и выполняем команду

dech-fits *.txt

В окне с «вертикальными» разрезами (Рисунок 34) активный спектр показан красным. В нашем случае это спектр плоского поля. Напомню, что спектр плоского поля имеет только один суб-порядок, тогда как спектры звёзд – два. Во втором суб-порядке этих спектров находится спектр ThAr. Поэтому в спектрах звезд нас интересуют только суб-порядки, совпадающие с порядками плоского поля.

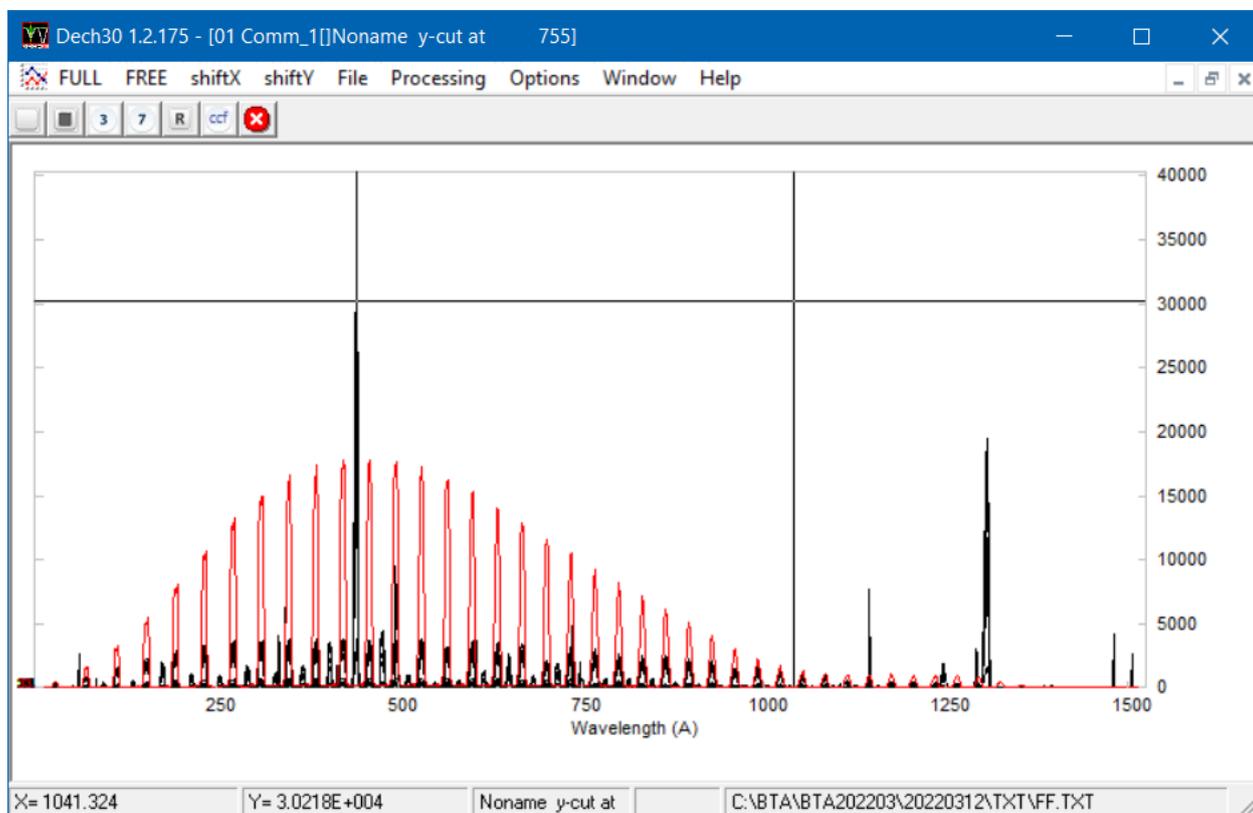


Рисунок 34 Набор «вертикальных» разрезов. «Активный» спектр показан красным. Его имя указано внизу, в строке состояния – в данном случае это плоское поле (FF).

Мощные эмиссии на рисунке 34 это суб-порядок с ThAr, которые нас пока не интересуют. Чтобы найти спектр звезды с наиболее высоким сигналом нужно рассмотреть спектры более детально. Для этого надо нажать правую кнопку мыши и, выбрать **FREE (Box mode)** в появившемся меню:

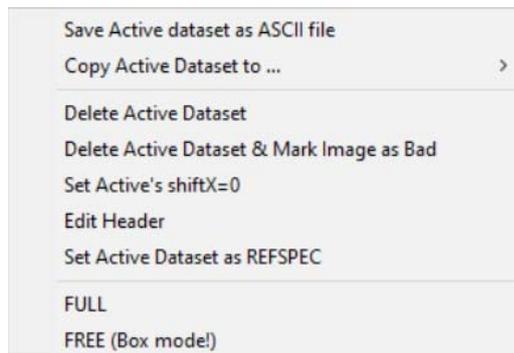


Рисунок 35 Дополнительное меню, которое можно вызвать правой кнопкой мыши.

В режиме **Box Mode** можно указать левую верхнюю и правую нижнюю границы прямоугольного фрагмента визуализации щелчком левой кнопки мыши. В результате получим, например, такой фрагмент, где можно более детально рассмотреть спектры:

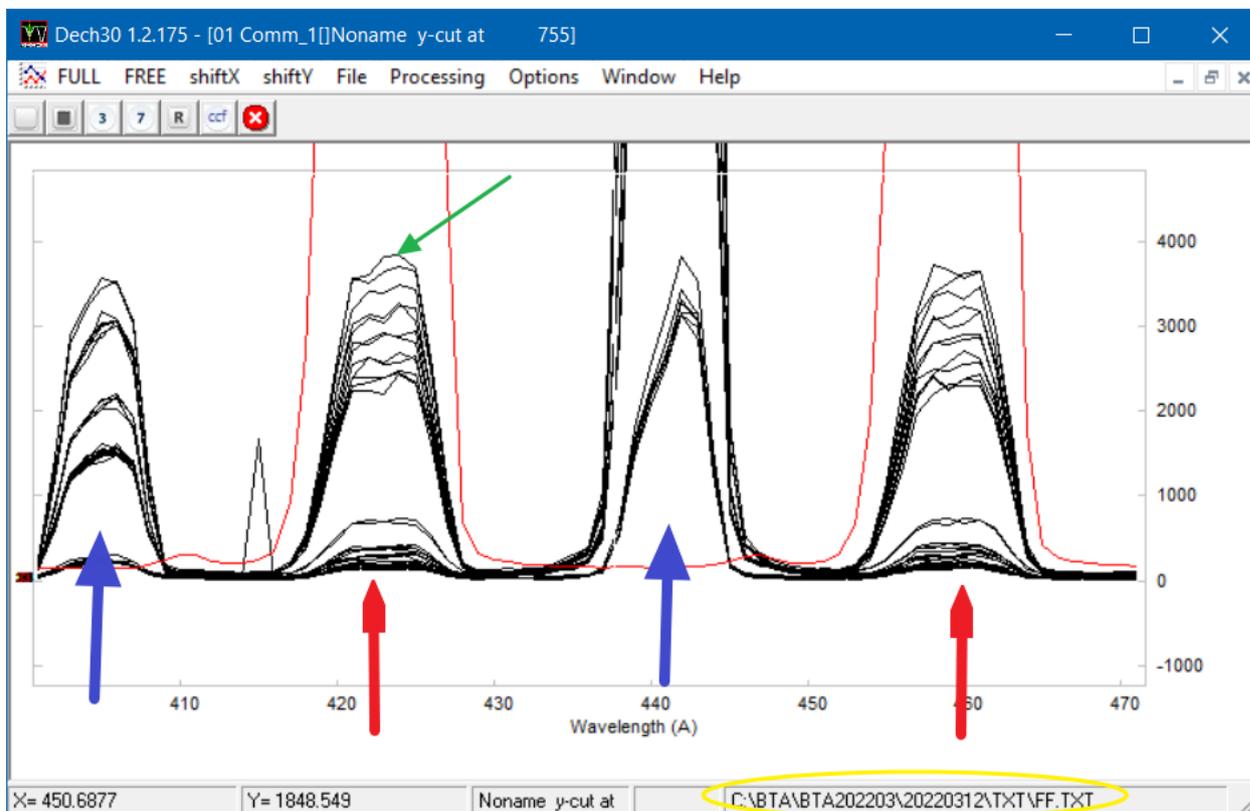


Рисунок 36 Детализированный фрагмент набора спектров, показанных на рисунке 34. Красными стрелками выделены суб-порядки, совпадающие с суб-порядками плоского поля (красная кривая). В этих суб-порядках находится спектр звёзд. Синими стрелками обозначены суб-порядки со спектром калибровки длин волн – ThAr.

Используя увеличенный фрагмент графика с «вертикальными» разрезами можем найти спектр с высоким уровнем накопления. На рисунке Рисунок 36 показано, что «активный» спектр выделен красным (в данном случае это плоское поле). Название активного спектра показано внизу, в строке состояния (в желтой рамке). Чтобы узнать название хорошо накопленного спектра (помечен зеленой стрелкой) можно щелкнуть по нему мышкой. Спектр станет «активным» (красным), в строке состояния будет показано его имя:

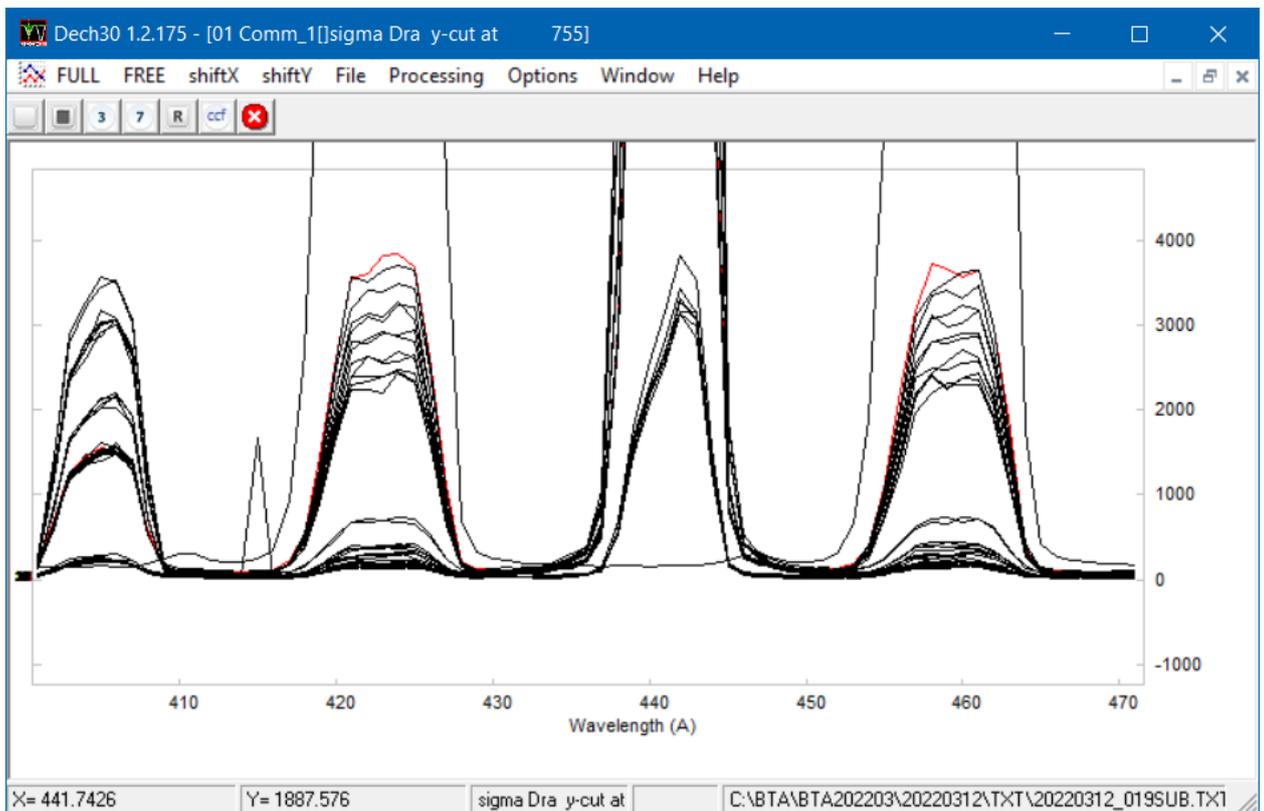


Рисунок 37 Активирован спектр с «хорошим» накоплением. В строке состояния видно имя файла с этим спектром.

Однако, если спектры расположены очень тесно, не всегда возможно активировать желаемый спектр. Другой способ: воспользоваться клавиатурой – стрелка вверх ↑ и/или стрелка вниз ↓ можно последовательно менять «активный» спектр. На рисунке Рисунок 37 спектр с хорошим накоплением активирован, видно его имя – 20220312_019SUB.

- Наша задача проверить насколько хорошо подходит для спектров звёзд маска, построенная по спектру плоского поля. Кроме этого, нам понадобится вторая маска для экстракции суб-порядков с ThAr. Возвращаемся в DECH95 и загружаем изображение 20220312_019SUB.
File/Load Image:

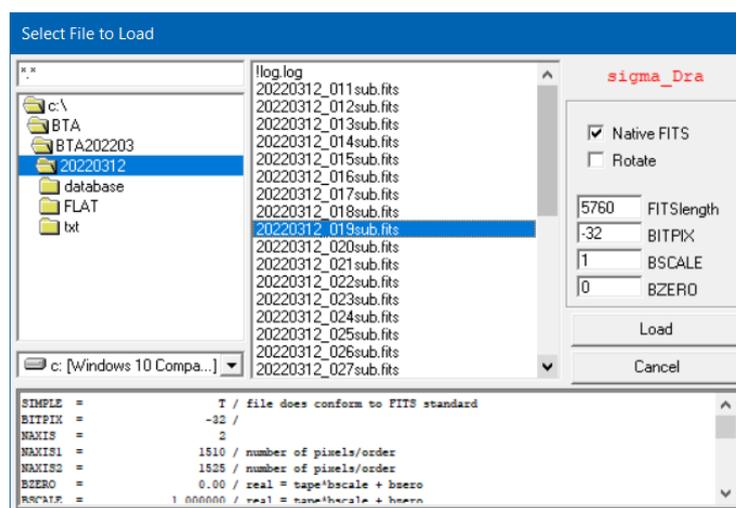


Рисунок 38 Загрузка спектрального изображения звезды.

После загрузки изображения, заходим в режим редактирования маски: **Mask/Edit** и загружаем маску **apff**:

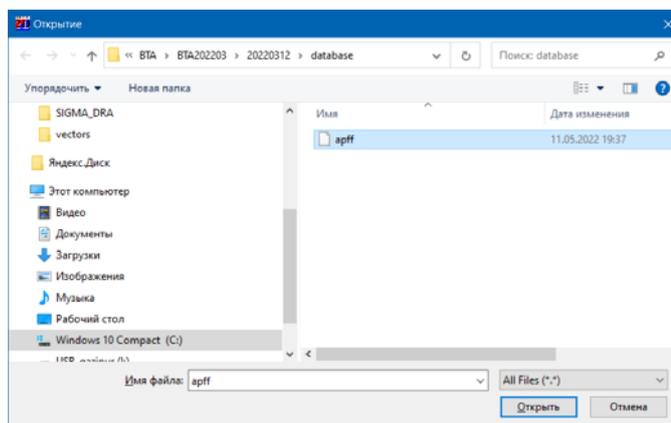


Рисунок 39 Загрузка маски.

Для оптоволоконных спектрографов характерна высокая позиционная стабильность, поэтому в идеале маска плоского поля должна подходить и для спектров звезд. Однако, в спектральных изображениях звезд используются оба суб-порядка, поэтому зоны меж-порядковых минимумов, определенные по спектру плоского поля попасть на суб-порядок ThAr. Кроме того, могут сильно отличаться уровни накопления что может повлиять на ширину порядка. Поэтому требуется тщательно проверить ширину порядков и положение зон меж-порядковых минимумов. В редакторе маски последовательность действий следующая:

- придвигаем зоны меж-порядковых минимумов к краям порядков. Используем **“Menu/Move Backgr Zones To Edges (Ctrl+N)”**. Ширину зон минимумов (*width of minima zones (in pixels)*) оставляем 15 пикселей. Не надо беспокоиться если в зону минимумов попадает соседний суб-порядок с Th-Ar. Программа будет искать именно минимум в границах этой зоны. Поэтому полезно задавать ширину зоны с запасом.

- после входа в режим редактирования маски, выбираем небольшой фрагмент спектра, так чтобы было видно детали. При необходимости принудительно обрезаем верхнюю границу графика (с помощью **Shift+T** как показано на Рисунок 25). Полезно сначала посмотреть на первые порядки, затем на последние, там, где порядки стоят близко к друг к другу. Для детального просмотра всей маски неудобно постоянно возвращаться в режим FULL и каждый раз выбирать новый фрагмент с помощью FREE. Поэтому есть другой способ. Выберите фрагмент спектра как, например, на рисунке Рисунок 53 и «передвигайтесь» по спектру с помощью стрелок «влево» \leftarrow и «вправо» \rightarrow на клавиатуре.

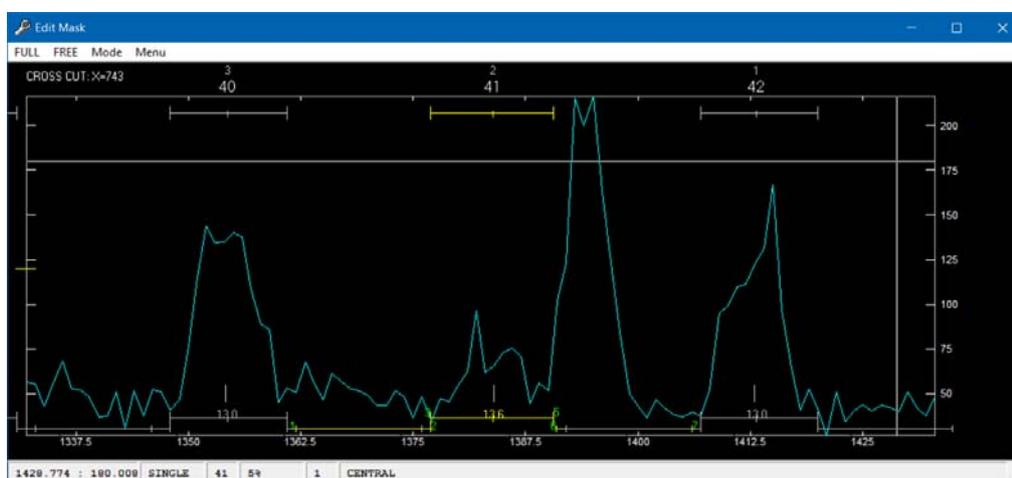


Рисунок 40 Наложение маски плоского поля на спектр звезды. В данном фрагменте видно, что правая граница порядка 41 требует корректировки, а зоны меж-порядковых минимумов попадают на суб-порядки.

Как правило, маска плоского поля не может быть использована для спектров звезд без коррекции (см. Рисунок 40). При необходимости, корректируем ширину порядков. Например, правую границу порядка 41 на Рисунок 40. Для этого используем клавишу **5**. С помощью клавиш **7** и **6** перемещаем «правую» зону минимумов в свободную область. С помощью клавиш **1** и **2**, при необходимости, делаем тоже самое с «левой» зоной минимумов. Полезный трюк: если отвести курсор влево от центра активного порядка и нажать клавишу **8**, то границы «левой» зоны активного порядка совпадут с границами «правой» зоны предыдущего порядка. Если тоже самое сделать в правой части, то границы «правой» зоны совпадут с границами «левой» следующего порядка. Необходимо помнить, что суб-порядки ThAr не видны по всей длине порядка что может привести к неправильной установке зоны минимумов. Например, на Рисунок 40, для порядка 41 хорошо видно, что правая зона минимумов попадает на суб-порядок ThAr и должна быть перемещена. В случае порядка 42 правая зона минимумов тоже должна быть скорректирована примерно также, как и для порядка 41. Отсутствие видимого суб-порядка лишь означает что текущий разрез поперек дисперсии (**CROSS CUT X=755**) не пересекает никакую эмиссионную линию в этом субпорядке. Положение суб-порядков относительно друг друга плавно меняется от порядка к порядку. Поэтому соседние порядки можно использовать как образец для корректировки зон минимумов. При необходимости, выполняем эту работу по всему спектру, каждый раз активируя очередной порядок для его коррекции.

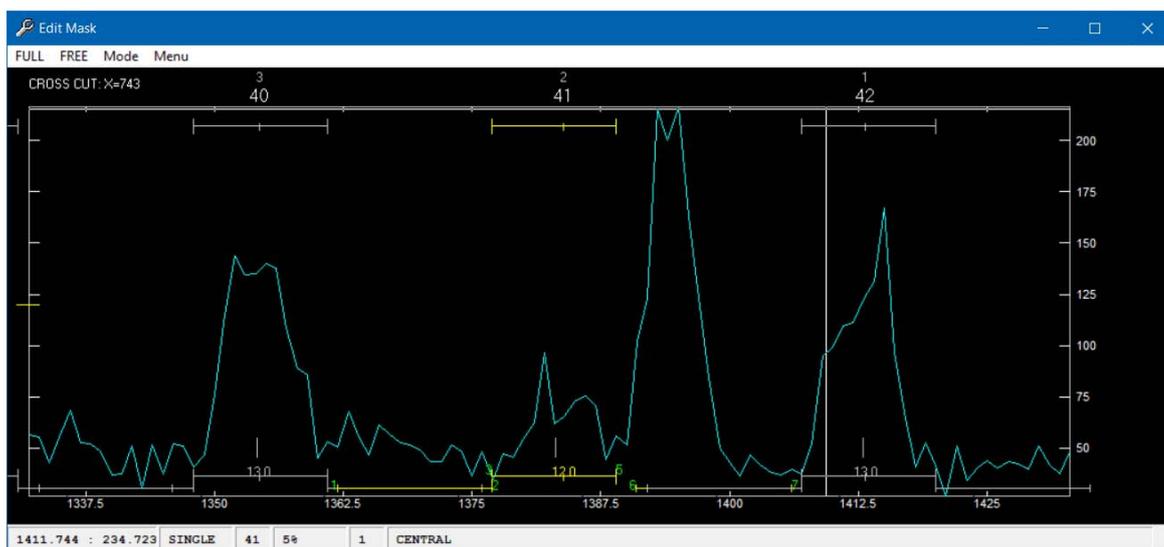


Рисунок 41 Скорректированная маска. Показаны только последние порядки.

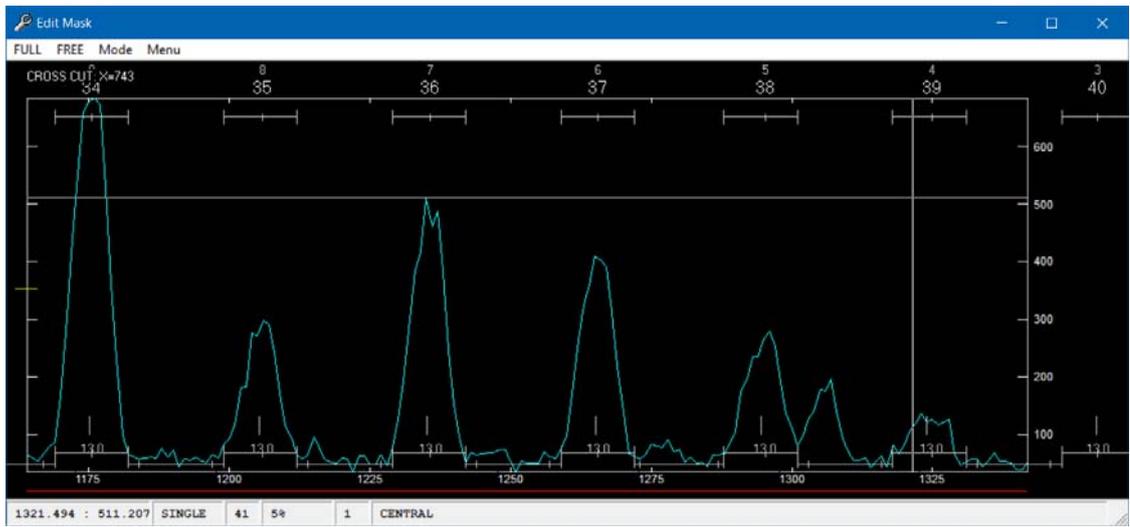


Рисунок 42 Скорректированная маска. Продолжение

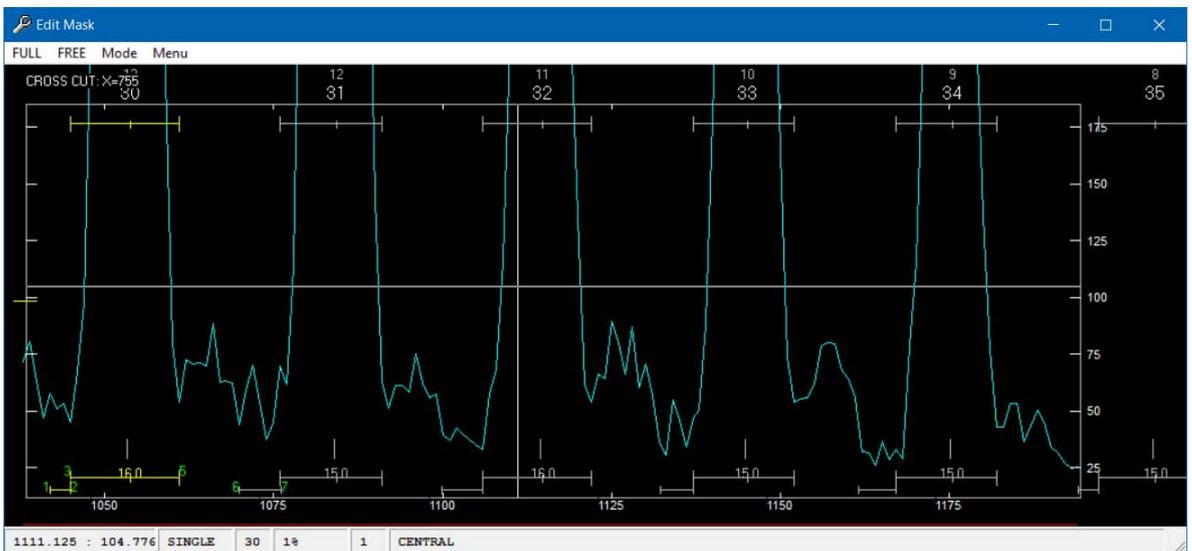


Рисунок 43 Скорректированная маска. Продолжение

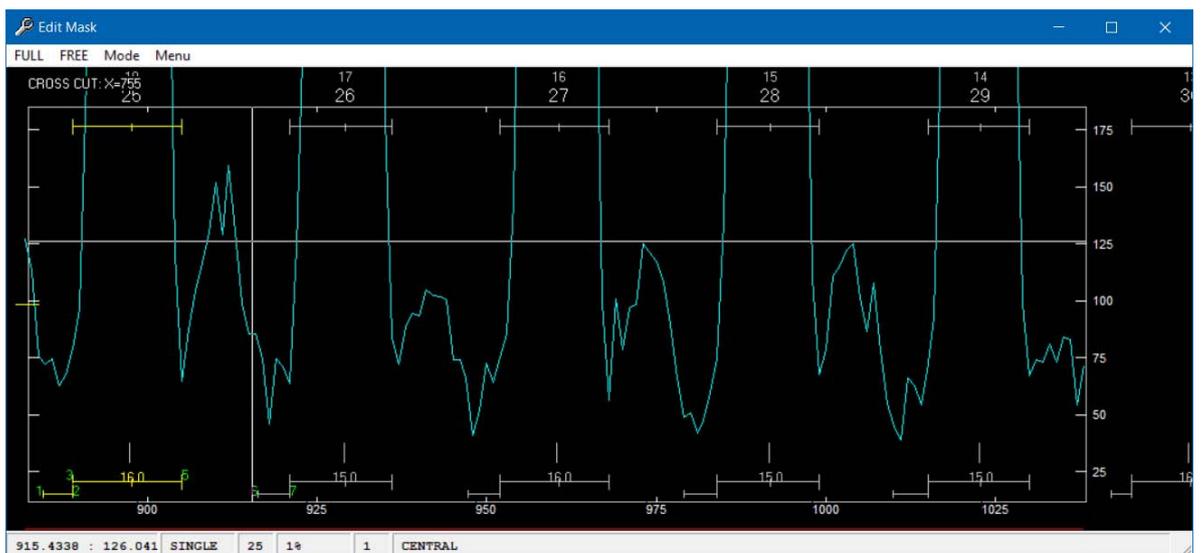


Рисунок 44 Скорректированная маска. Продолжение

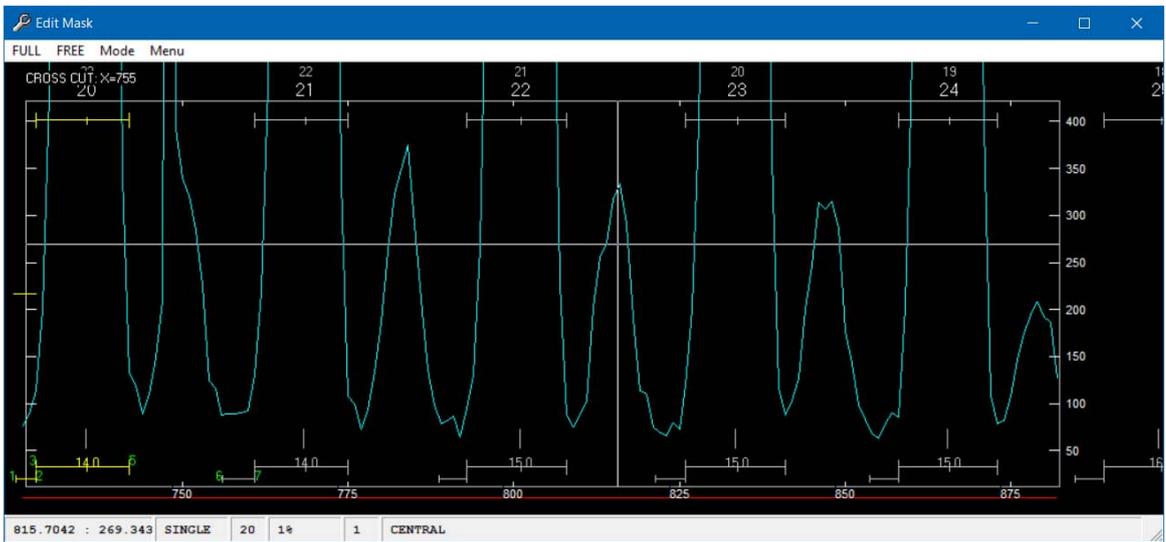


Рисунок 45 Скорректированная маска. Продолжение

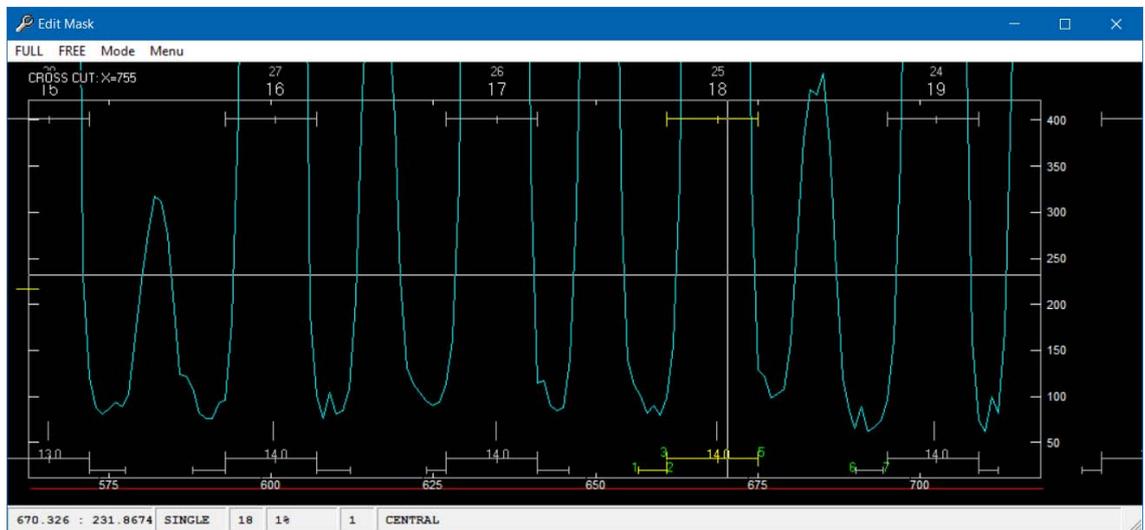


Рисунок 46 Скорректированная маска. Продолжение

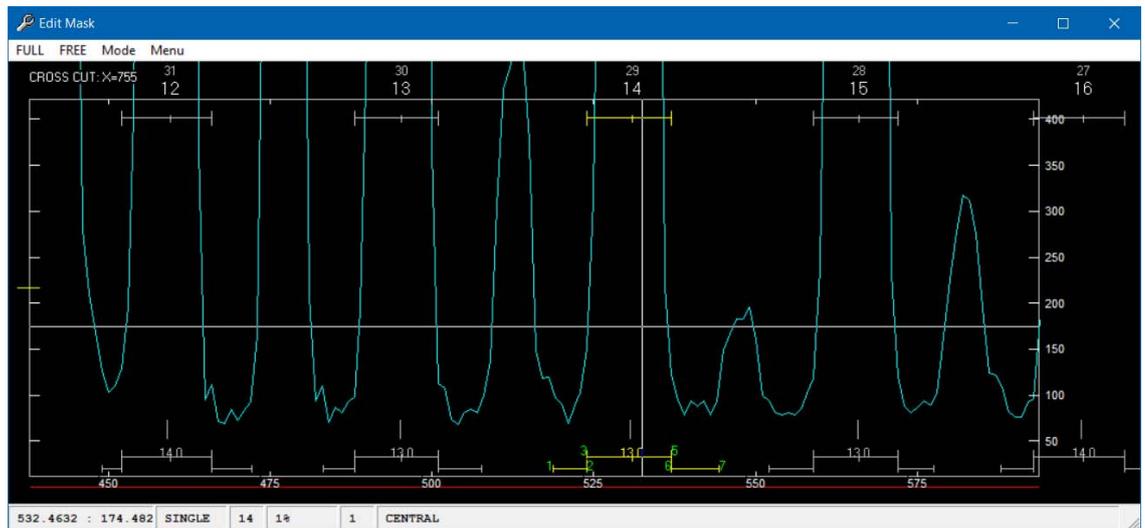


Рисунок 47 Скорректированная маска. Продолжение

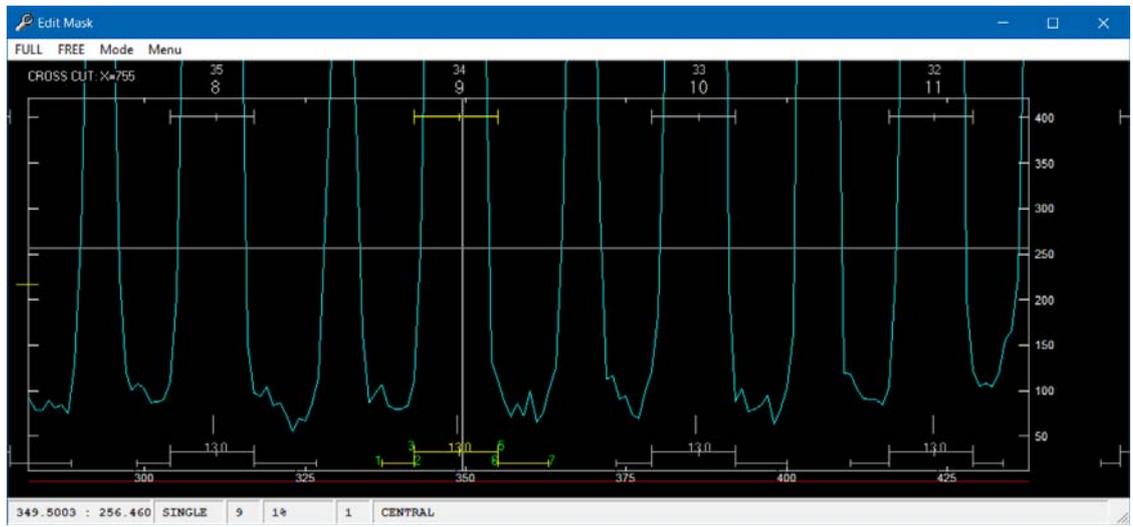


Рисунок 48 Скорректированная маска. Продолжение.

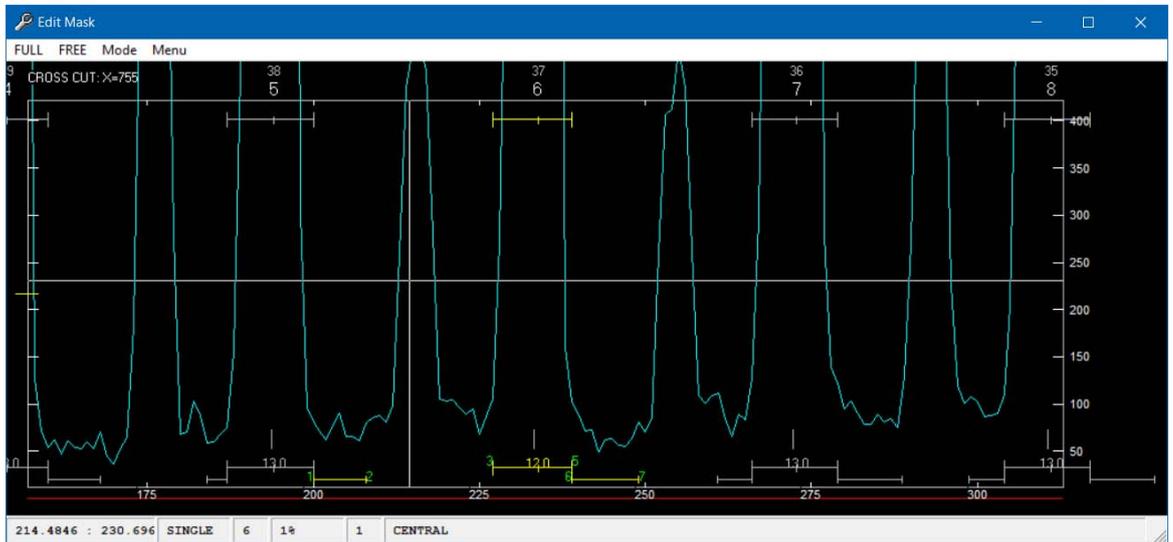


Рисунок 49 Скорректированная маска. Продолжение.

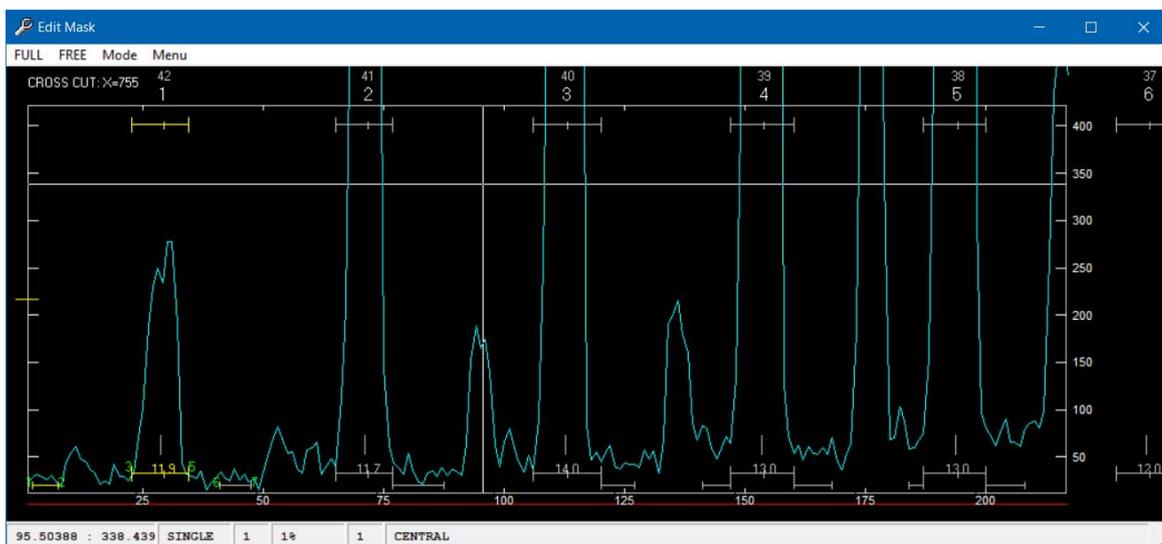


Рисунок 50 Скорректированная маска. Продолжение.

Совет: При редактировании маски лучше двигаться от последнего порядка к первому. Редактирование можно упростить. Сначала корректируем правую зону минимумов последнего порядка. Затем слегка расширяем левую зону, редактируем только ее левую границу клавишей **1**. После этого, активируем предыдущий порядок и поместив курсор в правую его часть нажимаем **8**. Правая зона минимумов станет идентичной левой зоне минимумов *следующего* порядка¹. Таким образом двигаемся от порядка к порядку по убыванию. Не забываем корректировать клавишами **3** и **5** границы порядков, если есть такая необходимость. Примерно с середины спектра (см. рис. Рисунок 46 и следующие) и ближе к началу, редактирование сводится к расширению зон минимумов – используем клавиши **1** и **7**. По завершению редактирования выполняем аппроксимацию зон минимумов – **Ctrl+B** (параметры те же, на рис. Рисунок 24).

После аппроксимации минимумов получится примерно такая картина:

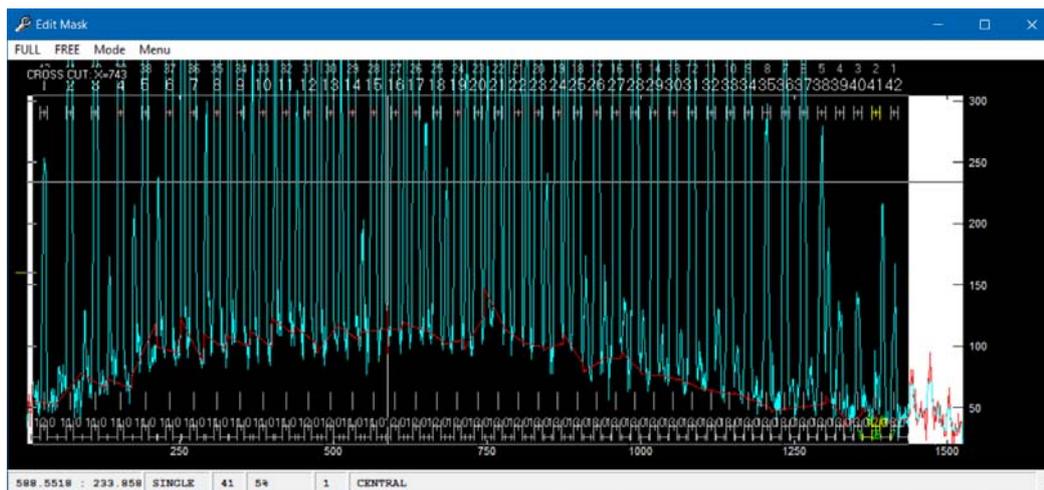


Рисунок 51. Результат аппроксимации минимумов спектра звезды.

¹ Если нажать клавишу **8**, разместив курсор слева от центра порядка то «левая» зона минимумов станет идентичной «правой» зоне *предыдущего* порядка.

Следует проверить качество аппроксимации вдоль дисперсии – **Ctrl+C**. Параметры такие же, как на рис. Рисунок 31 или Рисунок 53). Результат аппроксимации:

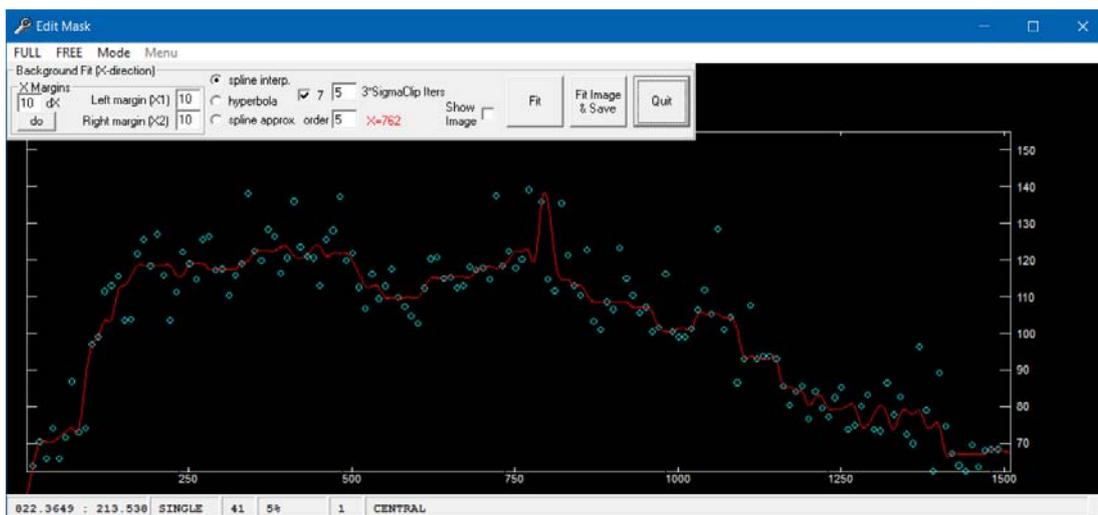


Рисунок 52 Результат аппроксимации минимумов вдоль дисперсии.

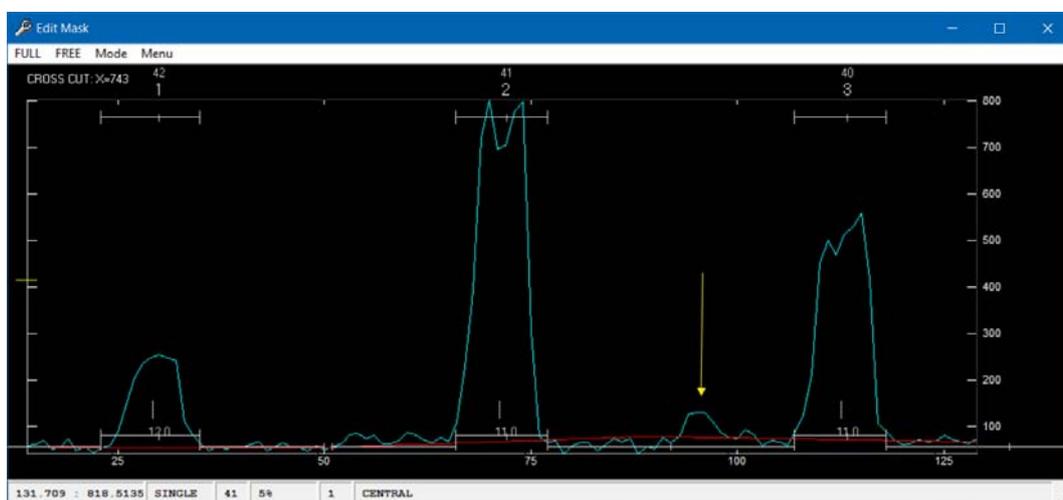


Рисунок 53 Маска после коррекции. Красным цветом показана та часть спектра, которая будет вычтена при экстракции. Желтой стрелкой помечен суб-порядок со спектром ThAr 3-го порядка.

Завершив инспекцию, запишем маску с помощью **Menu/Save as IRAF-type mask**. Вводим 4 и 2 в окне параметров как на рисунке 33, нажимаем кнопку **Fit**. В следующем окне нажимаем кнопку **Save&Quit** как на рисунке Рисунок 33. В результате в каталоге **database** появилась новая маска (**ap20220312_019sub**), которая будет использоваться для экстракции суб-порядков со спектрами звезд:

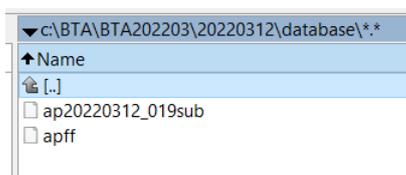


Рисунок 54 Список масок.

Однако, для экстракции суб-порядков со спектрами ThAr нам нужна еще одна маска. Будем ее создавать на основе уже имеющейся. Поэтому переименуем **ap20220312_019sub** в, например, **ap20220312_019sub-Obj**.

- Создание второй маски - для суб-порядков с ThAr.** Возвращаемся в окно редактирования. Сначала сдвинем всю маску влево, поскольку суб-порядки с ThAr находятся слева от основных (на изображении спектра это сверху). По умолчанию перемещение положения порядков заблокировано. Снятие блокировки – убрать галочку в **Mode/Do not move Aperture (block “4” and “M” keys** – см. рис. Рисунок 22. Еще одна предварительная операция: по умолчанию все изменения происходят только с активным порядком. Это так называемый режим SINGLE. Чтобы все коррективы происходили одновременно (в унисон) со всеми порядками достаточно щелкнуть мышью по надписи SINGLE в строке состояния (выделена зеленым кружком на рисунке Рисунок 55).

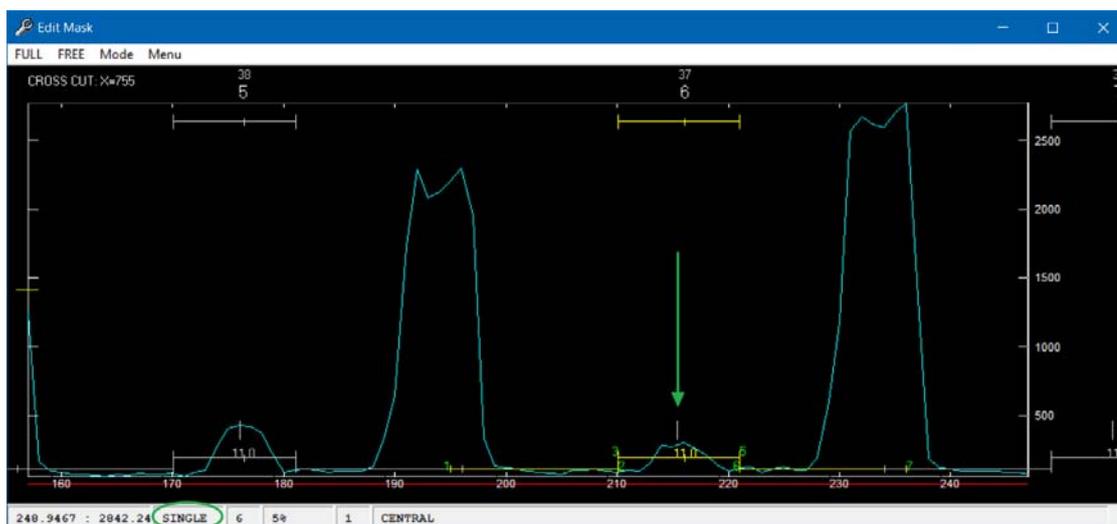


Рисунок 55 Маска перед редактированием положения порядков. Зеленой стрелкой показано положения суб-порядка ThAr активного порядка и зеленым кружком показан триггер переключения режима коррекции – один порядок или все порядки одновременно.

После этого активируем, например, порядок 3, помещаем курсор примерно в середину суб-порядка ThAr (указано зеленой стрелкой на рисунке Рисунок 55) и нажимаем клавишу **4**. Положение порядков (всех!) изменится. Также следует откорректировать положение левой и правой границ порядка клавишами **3** и **5**. Это повлечет изменение ширины всех порядков.

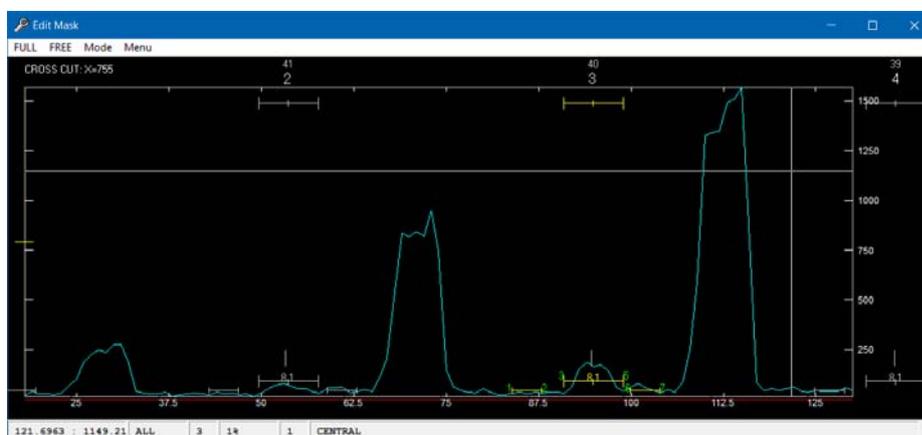


Рисунок 56 Положение и ширина порядков после коррекции.

Переходим к последним порядкам:

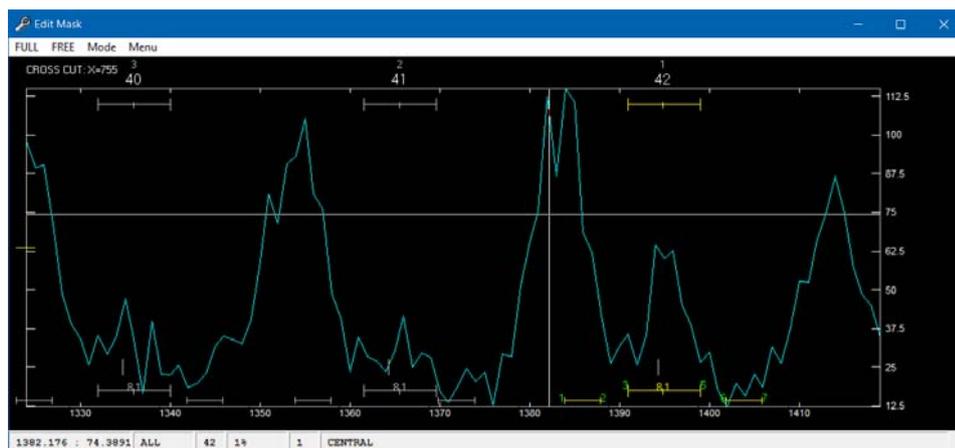


Рисунок 57 Суб-порядки ThAr, как правило, имеют уровень сигнала существенно более низкий, чем в суб-порядках с звездным спектром. Это обусловлено эмиссионной природой спектра ThAr, где сигнал в континууме практически отсутствует.

На рисунке Рисунок 57 видно, что «левые» меж-порядковые минимумы попадают на суб-порядок со спектром звезды. С помощью клавиш **1** и **2** поменяем положение зоны «левых» меж-порядковых минимумом. Поскольку режим **ALL** включен, это повлечет смещение этих зон у всех порядков! После корректировки границ порядков не забываем снова придвинуть к ним зоны межпорядковых минимумов (с помощью комбинации **Ctrl+N**. Как и прежде вводим ширину **15**)

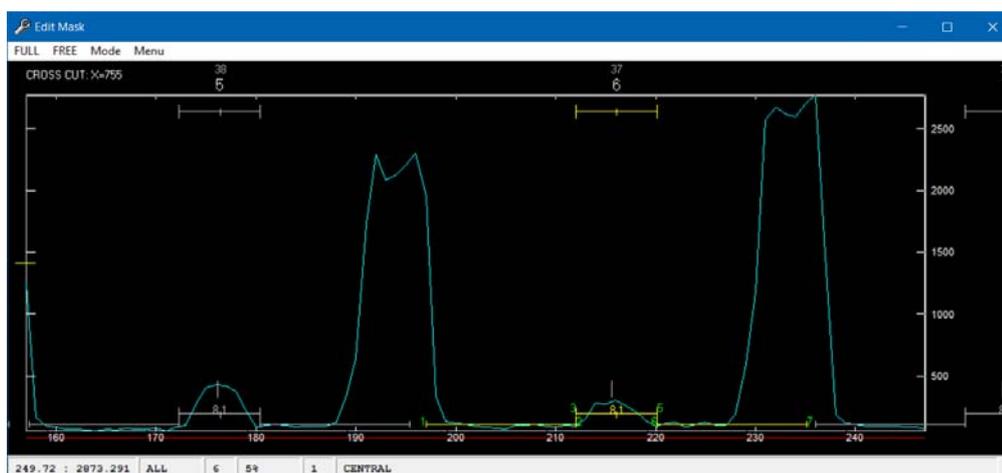


Рисунок 58 Скорректированное положение левой зоны меж-порядковых минимумов порядка 42.

Переключаем триггер **ALL** в **SINGLE** и проверяем маску каждого порядка в индивидуальном порядке. По завершении работы проверяем качество аппроксимации (**Ctrl+B**). Сохраняем маску (**Menu/Save as IRAF-type Mask**). Поскольку это маска для суб-порядков ThAr, рекомендуется переименовать маску, например, **ap20220312_019sub-ThAr**.

Быстрое редактирование маски

Маска для суб-порядков звездного спектра

Более простой способ редактирования маски, созданной по спектру плоского поля.

Начальные шаги те же самые что и в предыдущей главе - загружаем хорошо накопленный спектр звезды и редактируем маску **apff**. Следующие шаги:

- проверяем ширину порядков. При необходимости, корректируем положение границ **3** и **5**. Будьте внимательны с порядками, блендованными соседними суб-порядками (см. рис. Рисунок 59). В таком случае положение границ может быть не очевидным, поэтому можно либо поменять положение вертикального разреза (**CROSSCUT X=...**) и найти столбец, в котором этот порядок свободен от блендирования, либо ориентироваться на соседние «чистые» порядки и, установить границы руководствуясь принципом подобия.

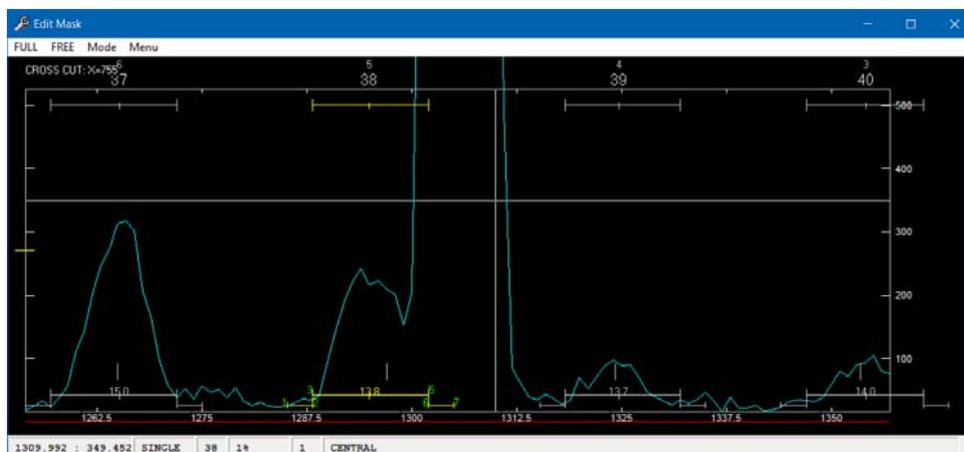


Рисунок 59 Пример порядка (38), блендованного мощной линией из суб-порядка ThAr

- **Menu/Set Backgr Zones in DECH mode (Ctrl+D)**. Устанавливаем в качестве меж-порядковых зон все пространство между порядками.

- **Menu/Fit background (Crosscuts) (Ctrl+B)**. Аппроксимируем минимумы с параметрами, указанными на следующем рисунке:

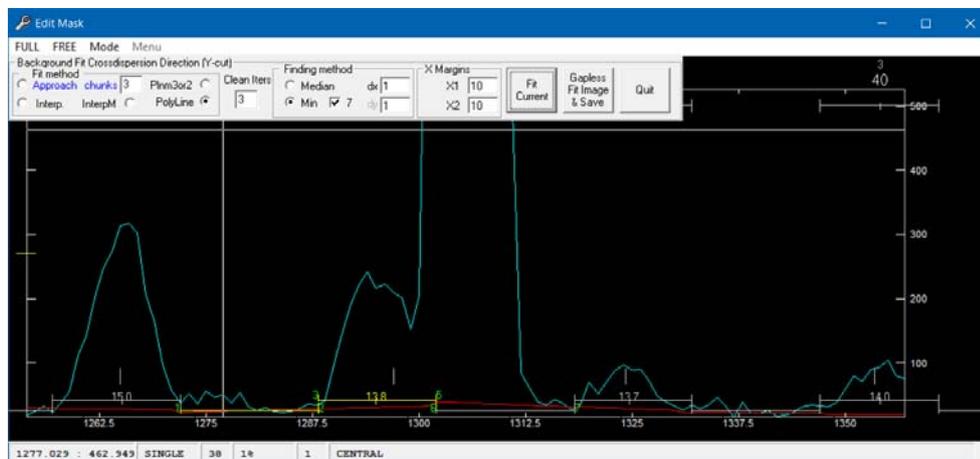


Рисунок 60 Определение уровня рассеянного света - аппроксимация минимумов.

- **Menu/Fit Background (Over Crosscuts) (Ctrl+C)**. Аппроксимируем минимумы вдоль дисперсии с параметрами, указанными на рисунке 62.

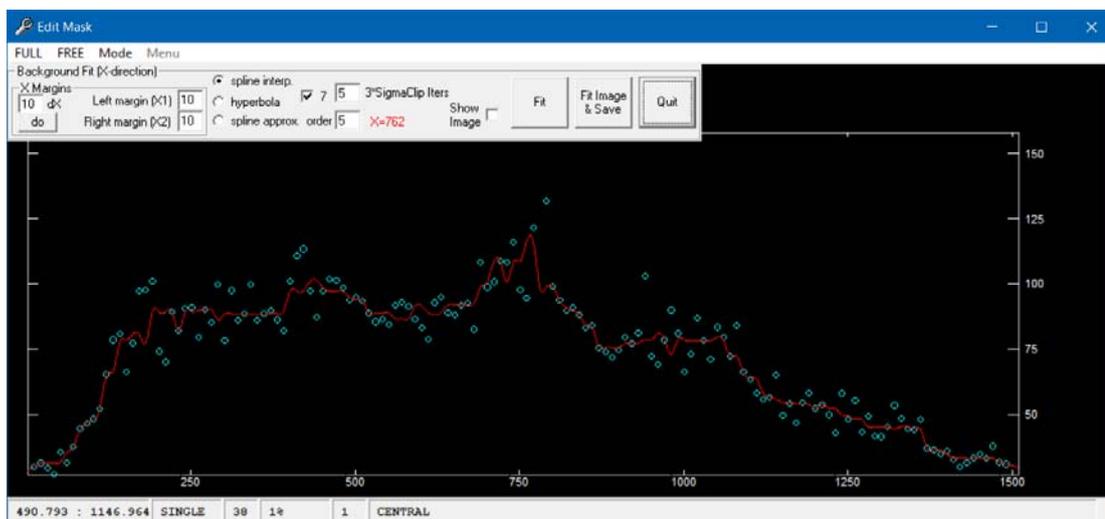


Рисунок 61 Аппроксимация минимумов вдоль дисперсии.

- Запишем маску с помощью **Menu/Save as IRAF-type mask**. Вводим **4** и **2** в окне параметров как на рисунке 33, нажимаем кнопку **Fit**. В следующем окне нажимаем кнопку **Save&Quit** как на рисунке 34. В результате в каталоге **database** появилась новая маска (**ap20220312_019sub**), которая будет использоваться для экстракции суб-порядков со спектрами звезд. Однако, для экстракции суб-порядков со спектрами **ThAr** нам нужна еще одна маска. Будем ее создавать на основе уже имеющейся. Поэтому переименуем **ap20220312_019sub** в, например, **ap20220312_019sub-Obj**.

Маска для суб-порядков ThAr

За основу берем маску суб-порядков звездного спектра **ap20220312_019sub-Obj**. Возвращаемся в окно редактирования. Сначала сдвинем всю маску влево, поскольку суб-порядки с **ThAr** находятся слева от основных (на *изображении* спектра это сверху). По умолчанию перемещение положения порядков заблокировано. Снятие блокировки – убрать галочку в **Mode/Do not move Aperture (block “4” and “M” keys)** – см. рис. Рисунок 22. Еще одна предварительная операция: по умолчанию все изменения происходят только с активным порядком. Это так называемый режим **SINGLE**. Чтобы все коррекции происходили одновременно (в унисон) со всеми порядками достаточно щелкнуть мышью по надписи **SINGLE** в строке состояния (выделена зеленым кружком на рисунке Рисунок 55), включится режим **ALL**.

После этого активируем, например, порядок 3, помещаем курсор примерно в середину суб-порядка **ThAr** (указано зеленой стрелкой на рисунке Рисунок 55) и нажимаем клавишу **4**. Положение порядков (всех!) изменится. Также следует откорректировать положение левой и правой границ порядка клавишами **3** и **5**. Это повлечет изменение ширины всех порядков. Контролировать маску лучше в области последних порядков – здесь они расположены наиболее близко к друг другу и ошибки наиболее очевидны. При необходимости можно подкорректировать положение и границы порядков. Помним, что в режиме **ALL** изменяются *все* порядки.

Устанавливаем в качестве меж-порядковых зон все пространство между порядками **Menu/Set Backgr Zones in DECH mode (Ctrl+D)**. Это наиболее гибкий способ поиска оптимальной точки для последующего построения кривой рассеянного света.

Переключаем триггер **ALL** в **SINGLE** и проверяем маску каждого порядка в индивидуальном порядке. По завершении работы проверяем качество аппроксимации (**Ctrl+B**). Сохраняем маску (**Menu/Save as IRAF-type Mask**). Поскольку это маска для суб-порядков **ThAr**, рекомендуется переименовать маску, например, **ap20220312_019sub-ThAr**.

Таким образом, у нас готовы 3 маски – для плоского поля, для спектра звезды (основной суб-порядок), для спектра сравнения суб-порядок ThAr). Переходим к экстракции спектров.

Экстракция спектров

Экстракция плоского поля

1. Загружаем спектр плоского поля FF.fits
2. **Extraction/Using Mask...**
3. В панели Mask окна настроек экстракции включаем триггер **Fixed Mask for All Images** и указываем маску **apff** из каталога **database**. Убедитесь, что database находится в том же каталоге, что и FF.fits.

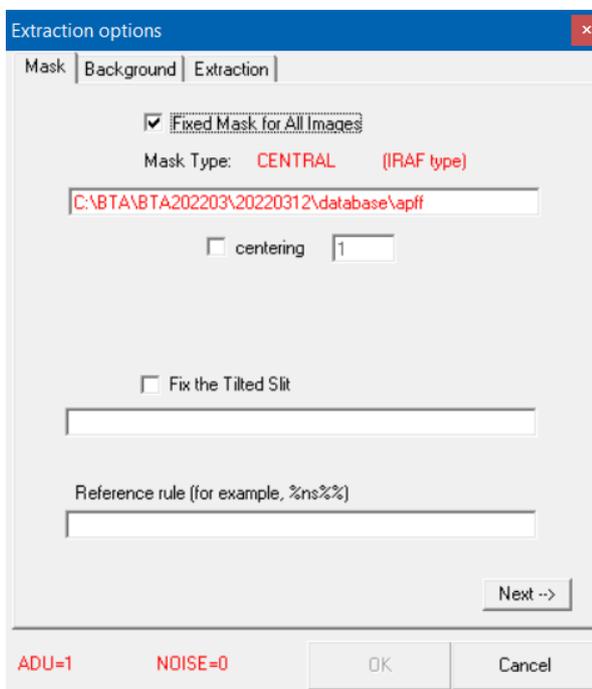


Рисунок 62 Первая панель окна настроек параметров экстракции. Выбор маски.

4. переходим в панель **Background** и выставляем все параметры как указано ниже:

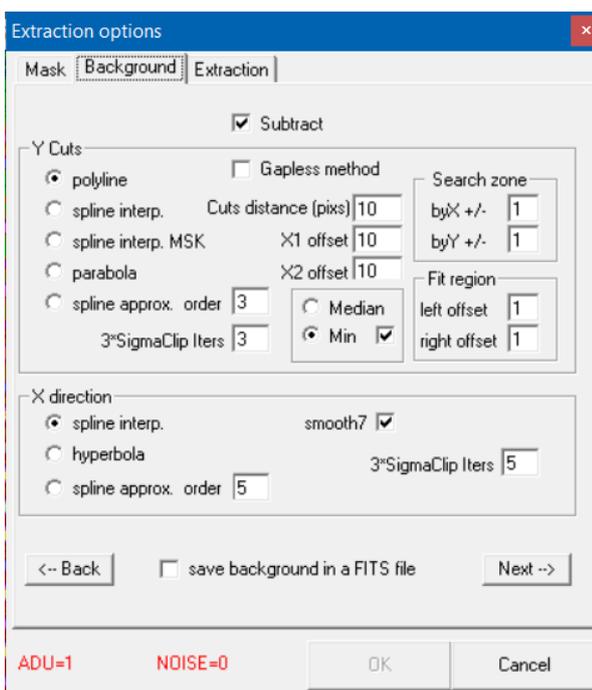


Рисунок 63 Вторая панель настройки параметров экстракции. Настройки учета рассеянного света.

5. переходим в панель **Extraction** и выставляем все параметры как указано ниже и нажимаем кнопку **OK**. По окончании экстракции выходим в основное меню по **EndProcedure**. В каталоге с изображениями появится файл **FF_v.fits** – это экстрагированный спектр плоского поля. Такие спектры называем *векторами* в отличие от исходных *изображений*. Опция **Remove Cosmic rays Hits** должна быть включена. Параметры **Chunk Size** и **nSigma** как на Рис. 65.

Экстракция спектров звезд (суб-порядок звездного спектра)

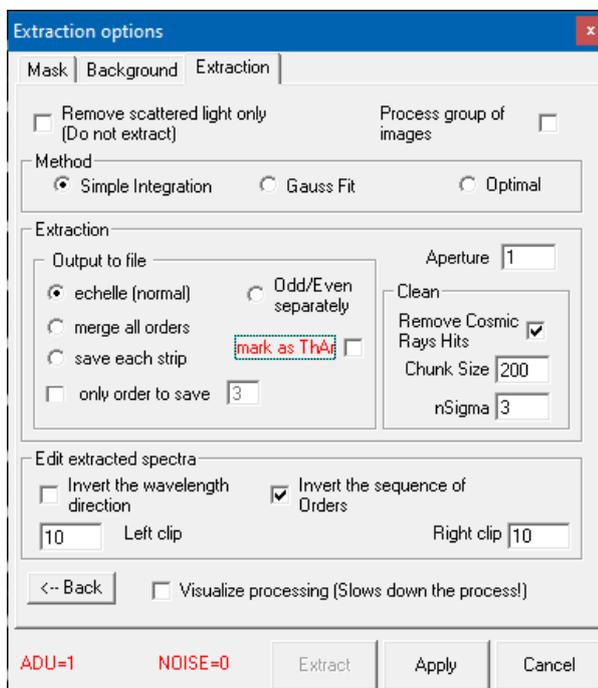


Рисунок 64 Третья панель настройки параметров экстракции.

6. Возвращаемся в пункт 3, но указываем другую маску - ar20220312_019sub-Obj:

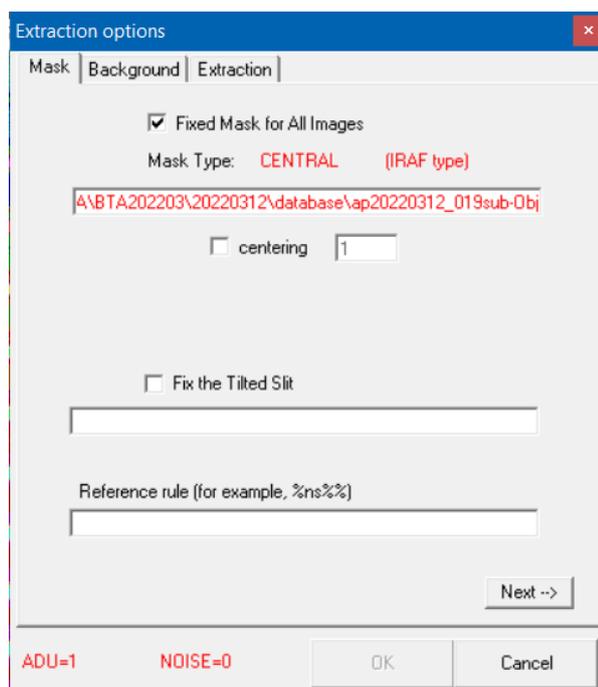


Рисунок 65 Выбрана маска для экстракции суб-порядков звездного спектра.

7. Вторая панель без изменений (см. рис.63)
8. Третья панель. Включаем режим **Process group of images**

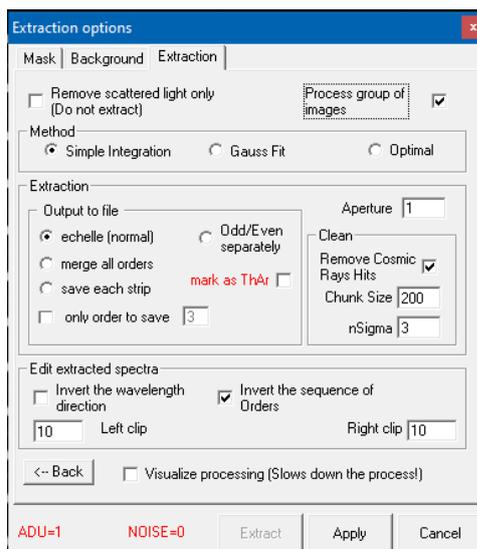
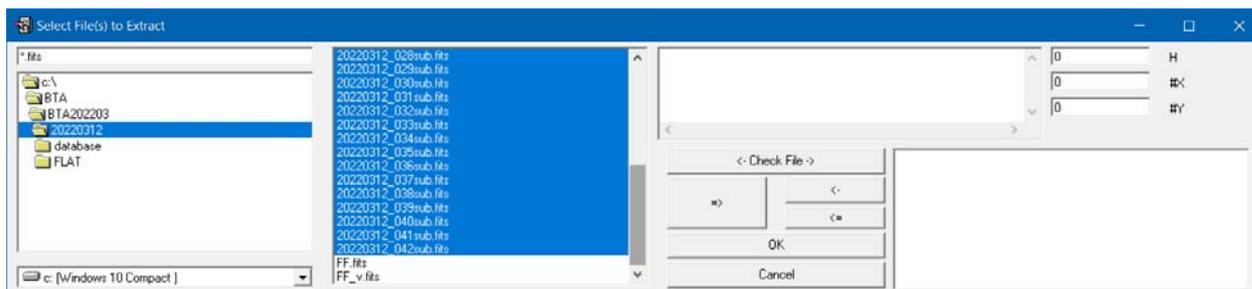


Рисунок 66 Параметры экстракции звёздных спектров (несколько файлов).

9. нажимаем кнопку **ОК**. В окне выбора файлов для обработки выбираем все спектры кроме спектров FF:



Нажимаем кнопку =>, затем кнопку **ОК**. Ждем завершения экстракции.

Экстракция спектров звёзд (суб-порядок спектра сравнения ThAr)

10. Возвращаемся в пункт 3, но указываем другую маску - **ap20220312_019sub-ThAr**:

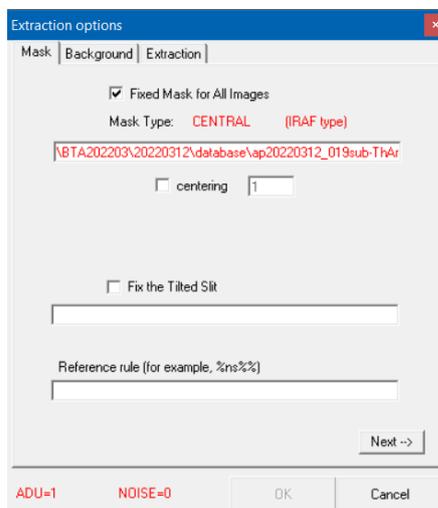


Рисунок 67 Выбрана маска для экстракции суб-порядков спектра ThAr.

11. Вторая панель без изменений (см. рис.63)
12. Третья панель. Включаем режим **Process group of images** и **Mark As ThAr suborders**.

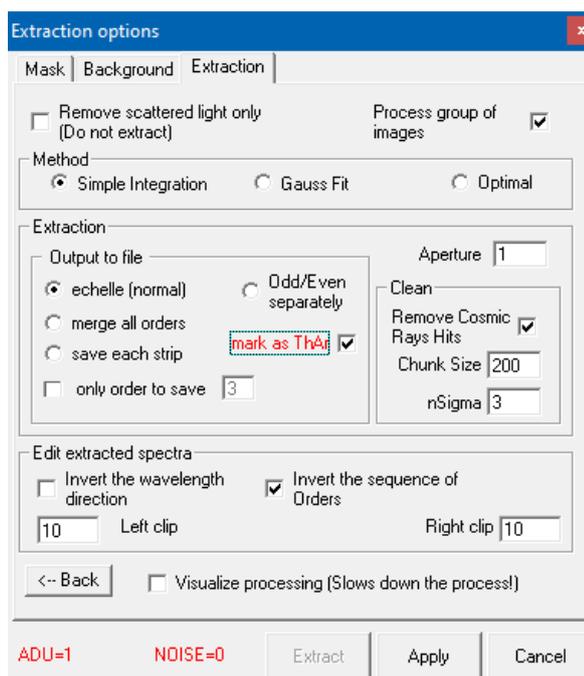


Рисунок 68 Параметры экстракции спектров ThAr (несколько файлов).

13. нажимаем кнопку **OK**. В окне выбора файлов для обработки выбираем все спектры кроме спектров FF. Не стоит беспокоиться по поводу выделения векторов ***_v.fits**. После нажатия кнопки => программа автоматически исключит их из рассмотрения:

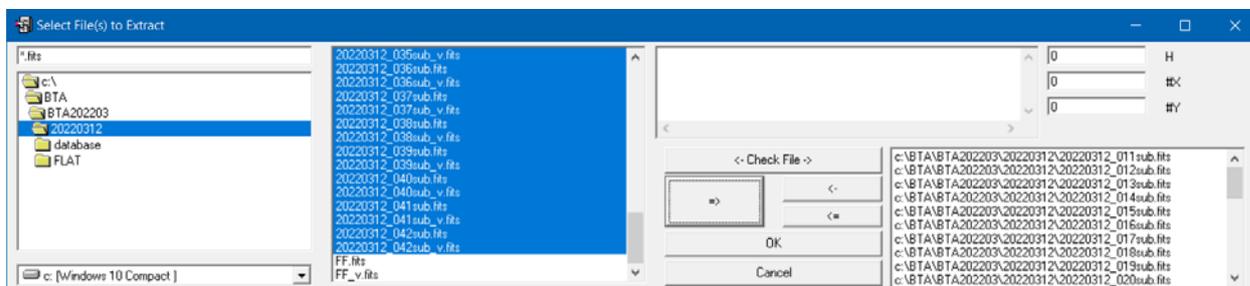


Рисунок 69 Выбор изображений для экстракции спектров. Вектора отбраковываются автоматически.

Нажимаем кнопку =>, затем кнопку ОК. Ждем завершения процесса. Экстракция завершена.

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ВЕКТОРОВ

Учет плоского поля для оптоволоконных спектров обычно осуществляют уже с экстрагированными спектрами. Для спектров БТА следуем этому правилу.

1. Удобнее перенести экстрагированные спектры (векторы) в отдельный каталог, скажем **VECTORS**. Сначала переносим туда только звёздные спектры и спектр плоского поля.
2. Работаем с программой **dech-fits**. Используем **File/Divide group of FITS files by a FITS file**. Выбираем все файлы кроме **FF_v.fits**. Нажимаем кнопку **=>**, затем **OK**.

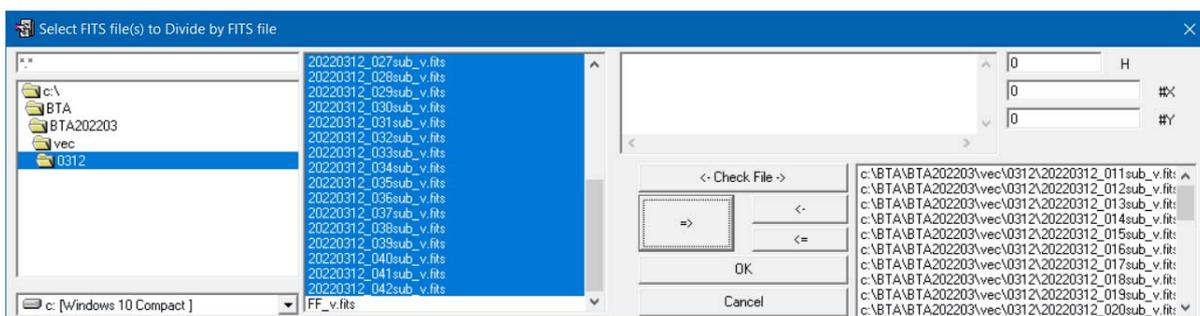


Рисунок 70 Выбрали спектры для коррекции плоским полем.

3. В следующем окне надо щелкнуть мышью по надписи **Click Here to select Divisor file** и затем выбрать **FF_v.fits**:

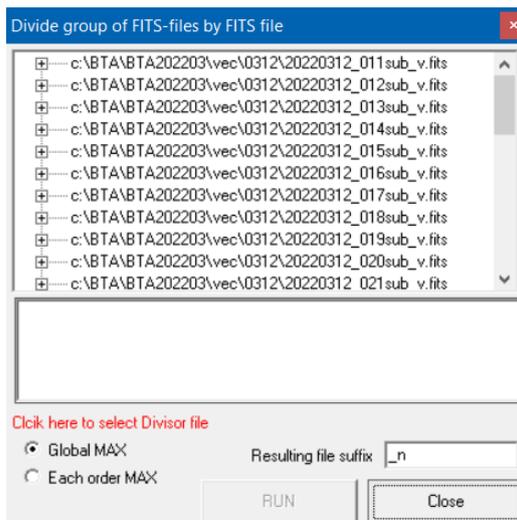


Рисунок 71 Параметры окна деления группы FITS файлов на FITS файл.

4. Нажимаем кнопку **RUN** и ждем завершения процесса. Затем нажимаем кнопку **CLOSE**, выходим из программы. В каталоге **VECTORS** появились новые файлы вида ***_v_n.fits** можно удалить исходные файлы:

Del *v.fits

Затем переименовываем файлы ***_v_n.fits** в ***v.fits**:

Shortname *.fits _n

5. Переносим файлы **_ThAr.fits** из каталога с изображениями в каталог **VECTORS**. Продолжаем работу в каталоге **VECTORS**.

Очистка спектров ThAr от следов космических частиц (опционально)

6. В каталоге **VECTORS** запускаем **dech95**. Работаем с **Tools/Average&clean vectors**. Выбираем все файлы ***_ThAr.fits**.

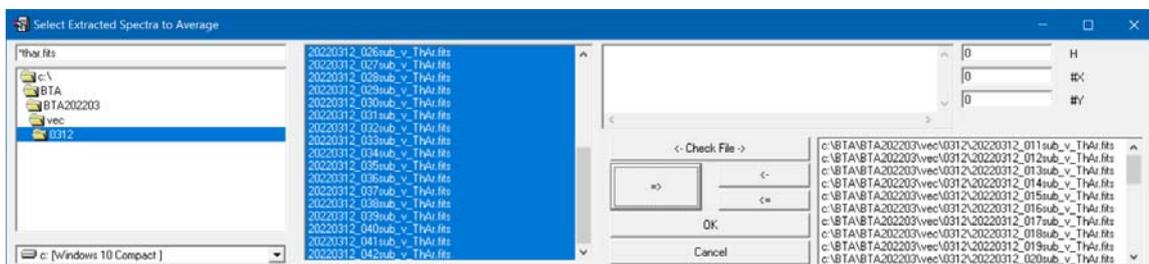


Рисунок 72 Выбраны все вектора *_ThAr.fits

Нажимаем кнопку =>, затем **OK**. В появившемся окне следует установить параметры как показано, либо нажать кнопку **ThAr**:

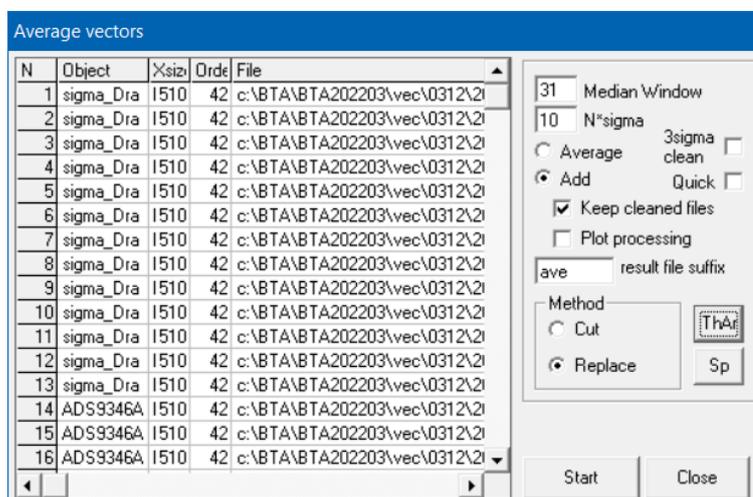


Рисунок 73 Параметры процедуры очистки спектров ThAr от следов космических частиц.

Нажать кнопку **Start** и дождаться окончания процесса. В каталоге **VECTORS** появятся файлы вида ***_ThAr_cl.fits** и вида ***ave*.fits**. Оригинальные файлы **_ThAr.fits** перемещены в каталог **ORIG**.
Файлы ***ave*** можно удалить:

Del *ave*

Отождествление спектра сравнения

Для удобства сократим имена файлов в каталоге VECTORS:

Shortname *.fits sub_v

Получим парный набор файлов – у каждого файла с звездным спектром имеется соответствующий файл с спектром сравнения ThAr (в имени файла добавляется **_cl**, если выполнить очистку от следов космических частиц – см. предыдущую главу):

Name	Ext	Size
[..]		<DIR>
[Orig]		<DIR>
20220312_011	fits	267 840
20220312_011_ThAr_cl	fits	265 200
20220312_012	fits	267 840
20220312_012_ThAr_cl	fits	265 200
20220312_013	fits	267 840

Рисунок 74 Парный набор файлов

1. Ревизия спектров:

rfits EXPTIME DATE DECH-HJD-OBS *ThAr*.fits > !log.log

В файле **!log.log** видим, что первый спектр имеет короткое время экспозиции.

EXPTIME	DATE	DECH-HJD-OBS	*cl.fits
60.00160	2022-03-12T20:38:30		20220312_011_ThAr_cl.fits
300.00159	2022-03-12T20:44:08		20220312_012_ThAr_cl.fits
300.00159	2022-03-12T20:49:21		20220312_013_ThAr_cl.fits
300.00159	2022-03-12T20:54:34		20220312_014_ThAr_cl.fits
300.00159	2022-03-12T20:59:47		20220312_015_ThAr_cl.fits

Рисунок 75 Список спектров с информацией о времени экспозиции и дате наблюдений.

Удаляем оба файла (**20220312_011_ThAr_cl.fits** и **20220312_011.fits**) из каталога **VECTORS**. Можно, например, создать каталог **LOWSN** и перенести их туда. Остальные спектры имеют примерно одинаковый уровень накопления, поэтому берем первый:

Dech-fits 20220312_013_ThAr_cl.fits

или

Dech-fits 20220312_013_ThAr.fits, если очистку пропустили.

Понадобится атлас линий ThAr или уже отождествленный спектр ThAr в качестве такового. Используем список линий ThAr из пакета IRAF. В нашем случае этот файл называется **ThAr-iraf.lin**. Загружаем список линий в оба спектра - образец и тот, который мы отождествляем. Для загрузки используем **Help/Load Identification (*.LIN file)**. В отождествленном спектре многие линии будут маркированы, в нашем же спектре пока не изменится ничего – ввиду отсутствия длин волн. Теперь надо найти одинаковые участки спектра в обоих файлах, как это показано на рисунке ниже. Для наглядности рекомендуется разместить спектры один под другом с помощью опции **Window/Tile Horizontal**:

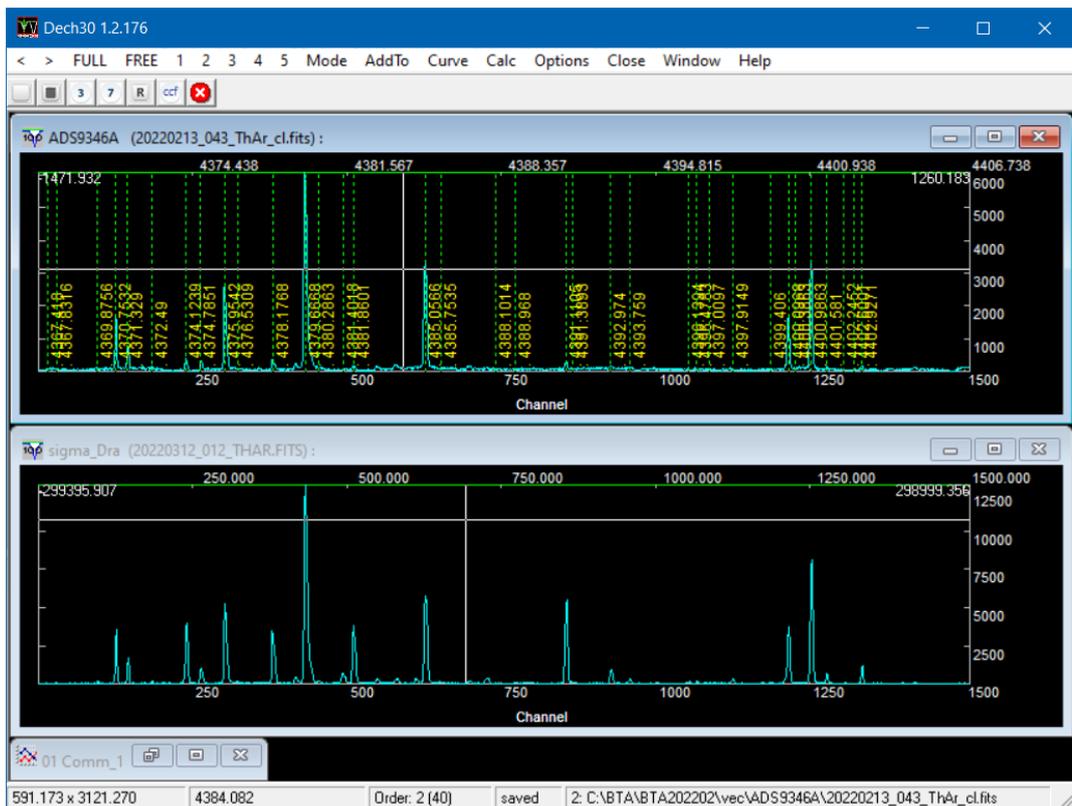


Рисунок 76 Два спектра ThAr с шкалой длин волн и без нее.

- Активируем нижний (неотождествленный) спектр в процедуру создания шкалы длин волн: **Curve/Dispersion Curve Workshop/Create It (Ctrl+K)**. Удобнее работать с небольшими участками спектра, так чтобы было видно подписанную длину волны и детали профиля линий.

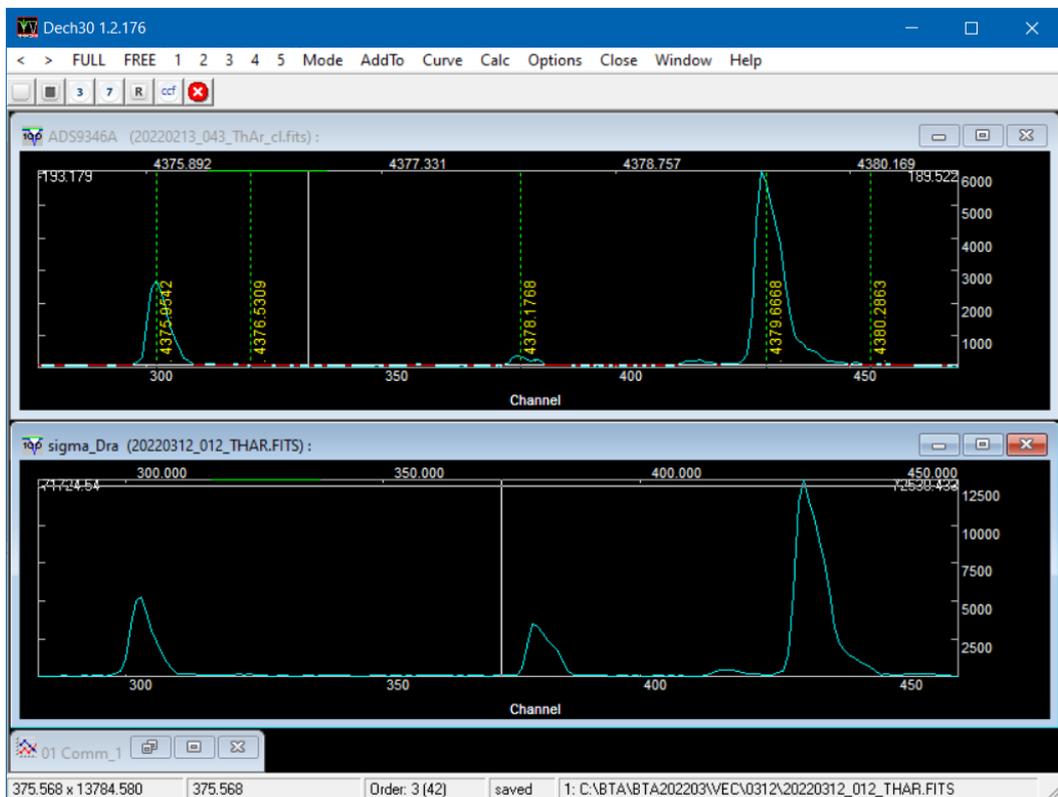


Рисунок 77 Фрагмент спектра из предыдущего рисунка.

Для отождествления линии, подводим курсор примерно на середину ее профиля, нажимаем клавишу **F** и вводим длину волны, указанную на отождествленном спектре. Например, крайняя левая линия имеет длину волны 4375.9542. Та, что в центре 4378.1768, и крайняя справа 4379.6668. Таким образом, с помощью клавиши **F** отождествляем все 3 реперные линии.

Клавиша **F** размещает репер в центре тяжести линии. Если вместо **F** использовать клавишу **I**, репер встанет точно там, где находится курсор. Для удаления ближайшего репера нажимаем **D**.

Если положение репера нуждается в коррекции (это может случиться, если линия не симметрична или блендирована), подводим курсор на отождествленную линию и нажимаем клавишу **B**. Появится зеркальный профиль линии. Стрелками влево/вправо на клавиатуре совмещаем профили в том месте, где полагаем, что находится центр линии. Вертикальная прерывистая линия служит подсказкой – репер будет размещен в этом месте. Для завершения работы нажимаем клавишу **Esc**.

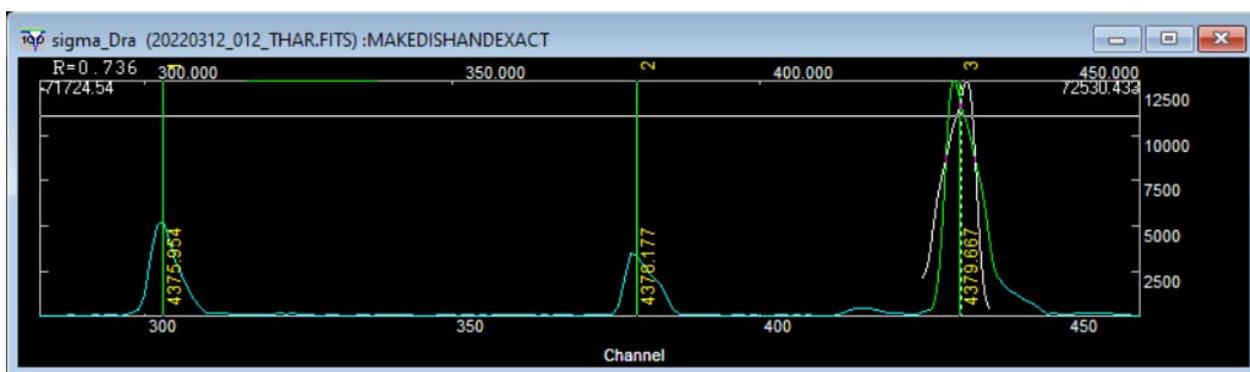


Рисунок 78 Справа показана линия с ее зеркальным профилем.

Теперь щелкаем на **Approach** или нажимаем клавишу **F10**. Затем кнопки Save Marks и Approach/ Программа попросит ввести степень полинома. Поскольку у нас всего три точки, максимальная степень это 2. Вводим 2 и смотрим на результат:

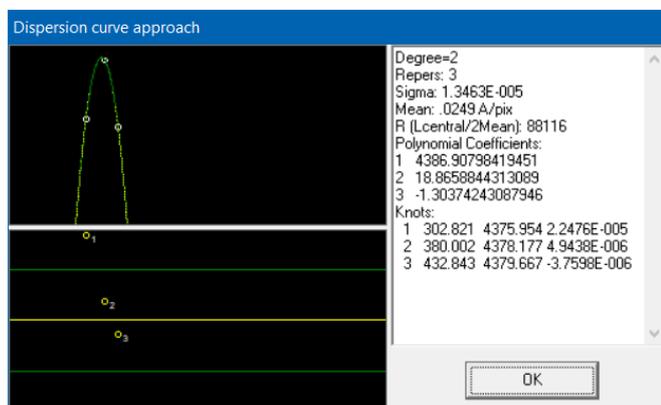


Рисунок 79 Результаты аппроксимации трех реперов дисперсионной кривой.

Нажимаем кнопку **OK**, возвращаемся к спектру. Теперь надо отождествить оставшиеся линии. Сделать это теперь легче, поскольку «черновая» шкала длин волн у нас уже есть. Удобнее работать с фрагментами спектра. Он разбит на 5 одинаковых частей слева направо – опции меню 1, 2, 3, 4, 5 наверху. Поскольку шкала длин волн у нас уже есть, можем увидеть, насколько наш спектр совпадает с образцом. Используем **Window/All windows to the same range (Ctrl+A)**. На рисунке ниже видно, что отождествление 2х крайних линий нуждается в коррекции.

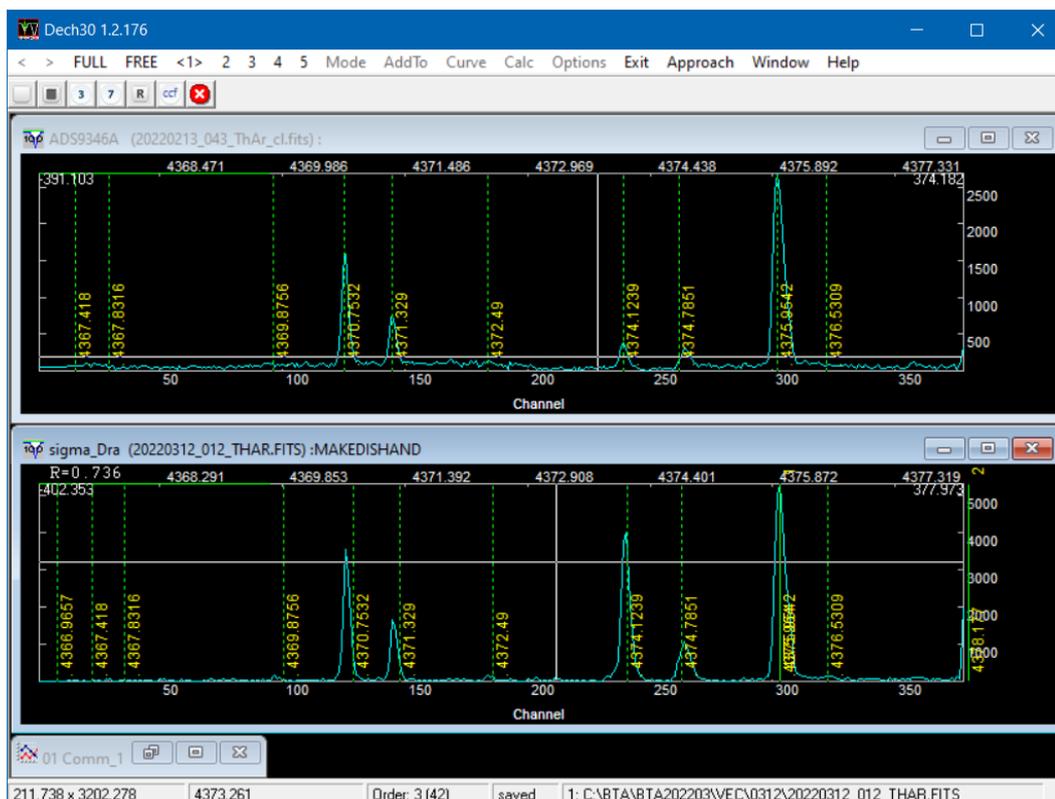


Рисунок 80 Фрагмент 1 обрабатываемого и образцового спектра после аппроксимации по 3 линиям. Видно, что шкала длин волн нуждается в коррекции.

Подводим курсор к центру линии, нажимаем клавишу **F**. Программа предложит ввести длину волны из списка. Можно двигаться по списку влево вправо с помощью виртуальных кнопок. Можно, наконец, ввести длину волны вручную, если таковая в списке отсутствует. Нажимаем кнопку **OK** и продолжаем таким образом отождествлять весь порядок, во всех фрагментах от **1** до **5**. Периодически выполняя аппроксимацию для коррекции шкалы длин волн. На этом этапе не рекомендуется вводить степень полинома выше 3. Когда реперы будут расставлены по всему порядку выполняем аппроксимацию со степенью полинома 5:

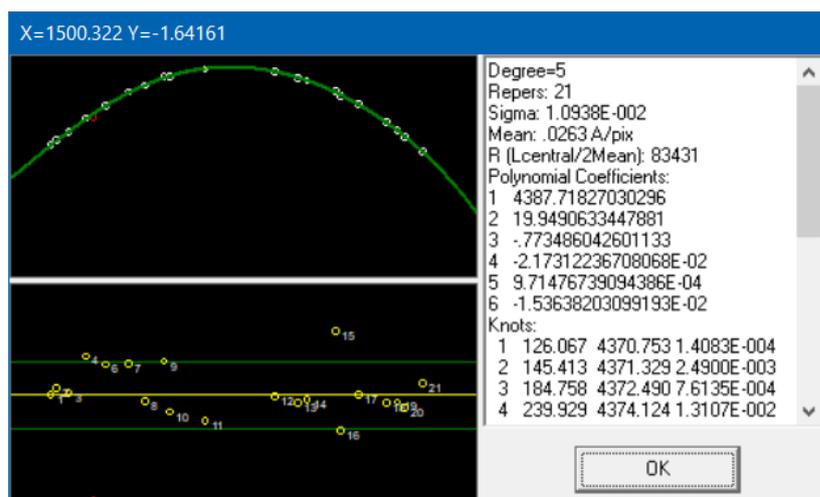


Рисунок 81 Результат аппроксимации полиномом 5ой степени. Видно, что есть «плохие» реперы.

Нажимаем кнопку **OK** и удаляем «плохой» реперы, после чего аппроксимируем кривую снова.

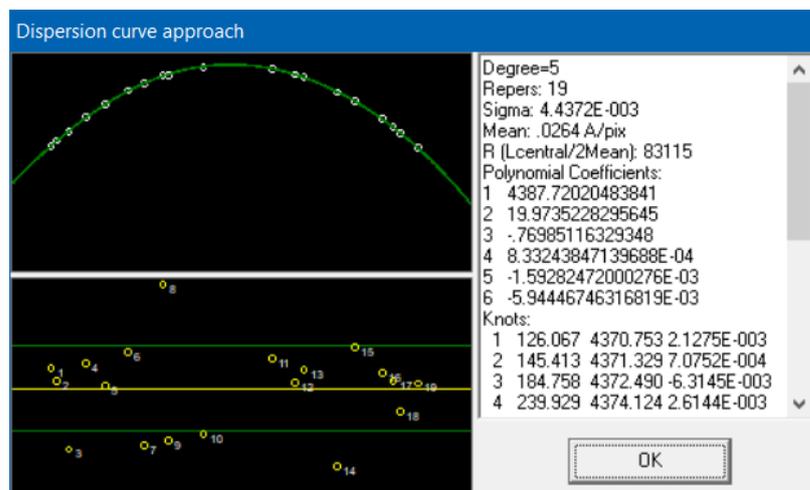


Рисунок 82 Пример дисперсионной кривой хорошего качества. Наблюдаем «облако» точек без выбросов. Дисперсия реперов 0.004 А существенно меньше линейной дисперсии 0.0264 А/pix/

Нажимаем **OK**, затем выходим из процедуры создания дисперсионной кривой (**Exit**). Таким же образом надо отождествить хотя бы еще один спектральный порядок. Лучше не соседний, а, скажем через один. Например, если это был порядок номер 3, теперь можно отождествить порядок номер 5.

Можно переходить к созданию глобальной дисперсионной кривой, связывающей как номер пикселя в порядке, так и номера порядков. Т.е. это двумерный полином. Вход в процедуру - **Curve/Dispersion Curve Workshop/Global fit & Create FDS file**. Ниже показана панель параметров.

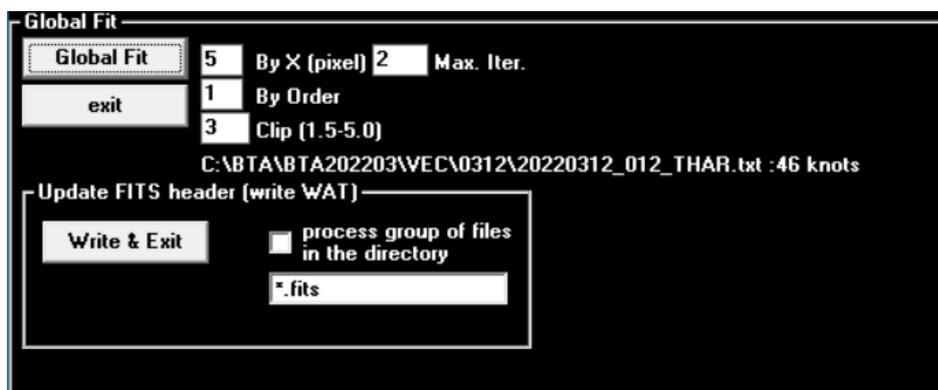


Рисунок 83 Параметры аппроксимации двумерным полиномом.

На данный момент у нас всего 2 отождествленных порядка, поэтому степень полинома по порядкам (**By Order**) не может быть больше чем 1. Степень полинома внутри одного порядка (по пикселям) остается прежней, т.е. 5. Максимальное количество итераций пока оставим 2.

Нажимаем **Global Fit**. Появляется большое окно с тремя графиками и большим количеством кнопок справа. Верхний график показывает отклонение реперов от аппроксимирующей кривой в шкале пикселей, средний в шкале порядков, нижний в шкале длин волн. Кнопки с номерами служат для проверки расположения реперов в соответствующем порядке. Нажимаем кнопку **OK** для возврата в предыдущее окно (Рис. 84). Здесь нажимаем **Write&Exit**. Теперь все порядки имеют шкалу длин волн. Вследствие экстраполяции отклонение длин волн спектральных линий от корректного может достигать значительных величин. Поэтому необходимо отождествить каждый порядок, затем повторить глобальную аппроксимацию с корректным значением степени полинома **By Order**. Рекомендуется делать аппроксимацию после отождествления, скажем первого, последнего и еще двух трех порядков.

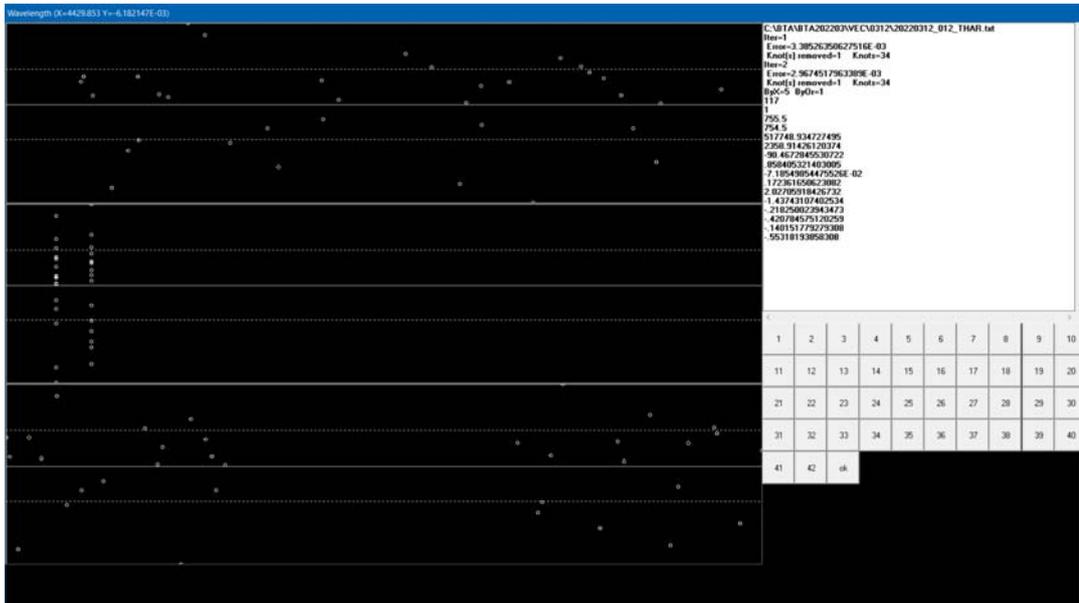


Рисунок 84 Результат аппроксимации реперов 2х порядков двумерным полиномом.

Итак, отождествим линии в первом порядке:

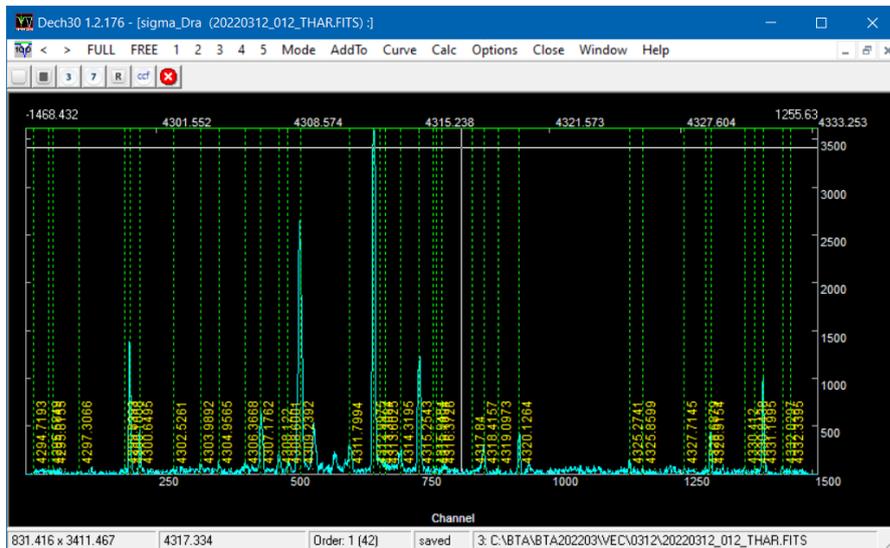


Рисунок 85 Первый порядок. Видно, что отождествление хорошо совпадает с спектральными линиями.

Видно, что глобальный полином хорошо справился с экстраполяцией и отождествление хорошо совпадает с положением линий. Входим в процедуру построения дисперсионной кривой **Ctrl+K**. Нажимаем клавишу **L**. Появится меню для автоматического отождествления. Устанавливаем параметры как на следующем рисунке:

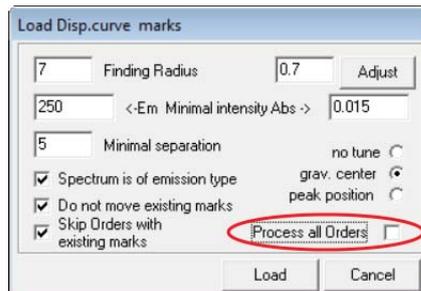


Рисунок 86 Параметры процедуры загрузки линий отождествления.

Параметр **250** используется для отсеечения слабых линий, т.е. **250** - это минимальная интенсивность линий, которая может быть использована. Обрабатываем только текущий порядок. Указано, что спектр – эмиссионный. Нажимаем кнопку **Load**.

Аппроксимируем загруженные реперы (**F10** или **Approach**) полиномом 5ой степени.

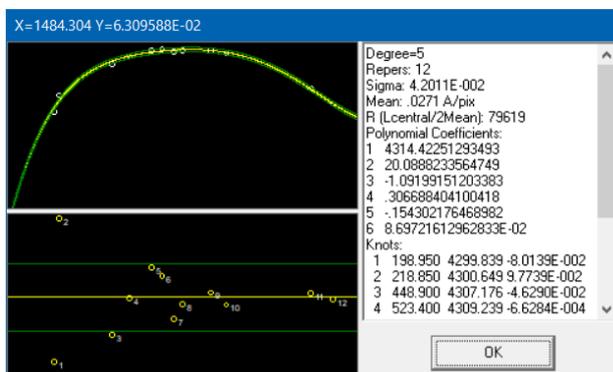


Рисунок 87 Аппроксимация первого порядка.

Видно, что средняя ошибка велика. Попробуем удалить первые 2 репера и сделать аппроксимацию 3ей степени. Стало лучше:

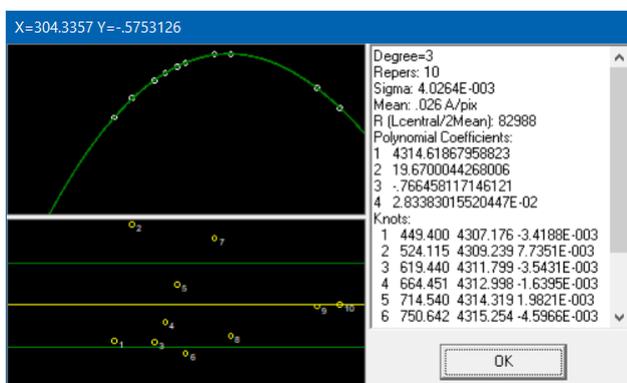


Рисунок 88 Аппроксимация первого порядка после удаления двух реперов.

Рассмотрим правый край порядка более детально и добавим реперы с помощью клавиши **F**.

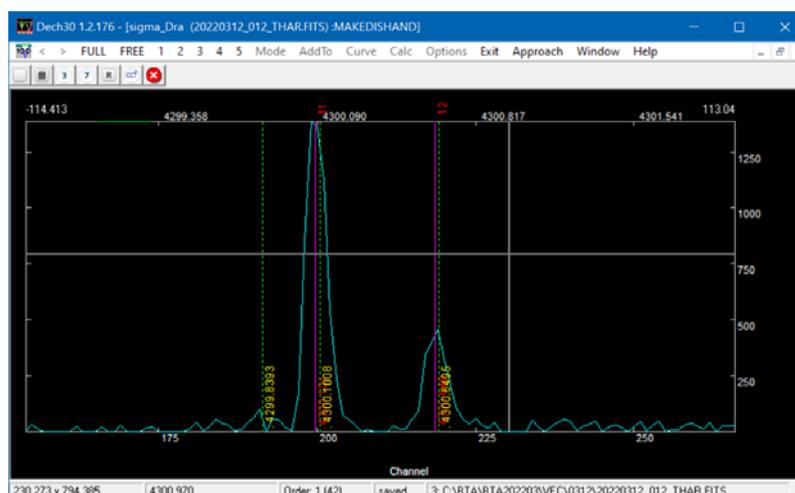


Рисунок 89 Добавили 2 репера с помощью клавиши F.

Снова выполняем аппроксимацию 5ой степенью, видим, что ситуация исправилась.

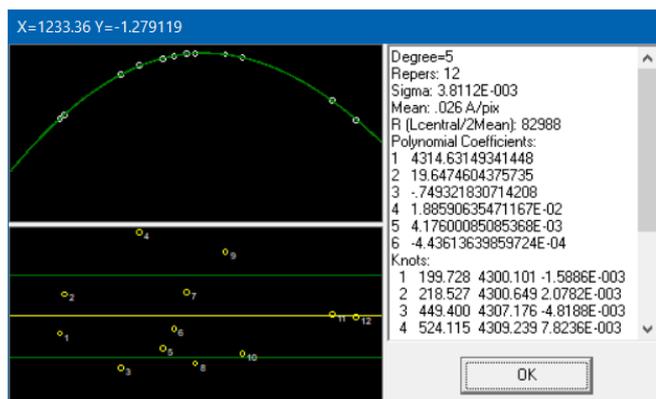


Рисунок 90 Окончательное решение для 1го порядка.

Отождествим последний, 42ой порядок. Здесь мало линий, поэтому пользуемся только клавишей F. Ввиду очень удаленной экстраполяции заметно расхождение между отождествлением и положением спектральных линий. Однако, расхождение незначительно и не мешает расстановке реперов:

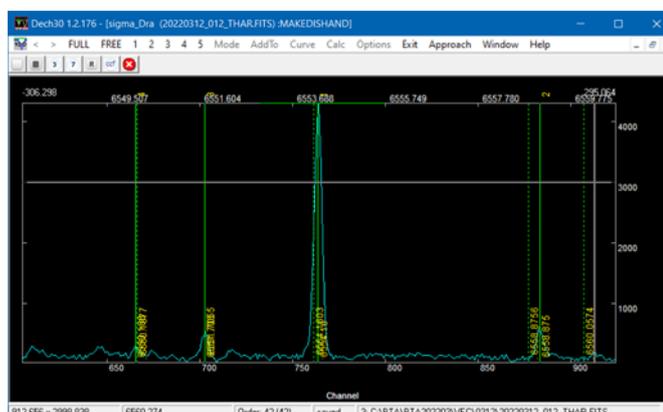


Рисунок 91 Порядок 42 до аппроксимации. Отождествление и положение реперов показывают некоторое расхождение.

Реперов в 42ом порядке очень мало, поэтому используем полином Зей степени. Для надежного «закрепления» последних порядков отождествим еще 41ый порядок (Зя степень). И один порядок в центре, скажем 20ый (Бая степень). Возвращаемся в главное меню.

Теперь выполним двумерную аппроксимацию **Curve/Dispersion Curve Workshop/Global fit & Create FDS file**. Увеличим степень **by Order** - поставим 2. Не забываем выходить по кнопке **Write&Exit**. После чего идем, скажем, на порядок номер 2, входим в процедуру создания дисперсионной кривой (Ctrl+K), нажимаем клавишу L и выставляем другие параметры – теперь обрабатываем все порядки:

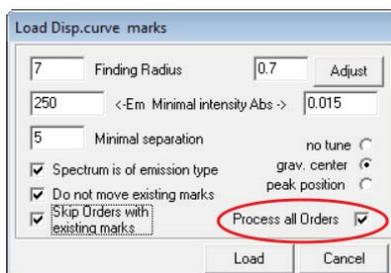


Рисунок 92 Параметры для загрузки реперов по всему спектру.

Нажимаем кнопку **Load**. После завершения работы возвращаемся в главное меню. Теперь выполним двумерную аппроксимацию **Curve/Dispersion Curve Workshop/Global fit & Create FDS file**. Увеличим степень **by Order** – установим 4. Максимально возможное количество итераций установим 20:

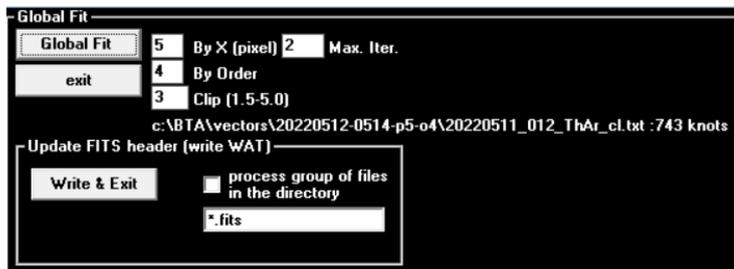


Рисунок 93 Параметры двумерного полинома для аппроксимации всех порядков

Нажимаем **Global Fit**, получаем новое окно:

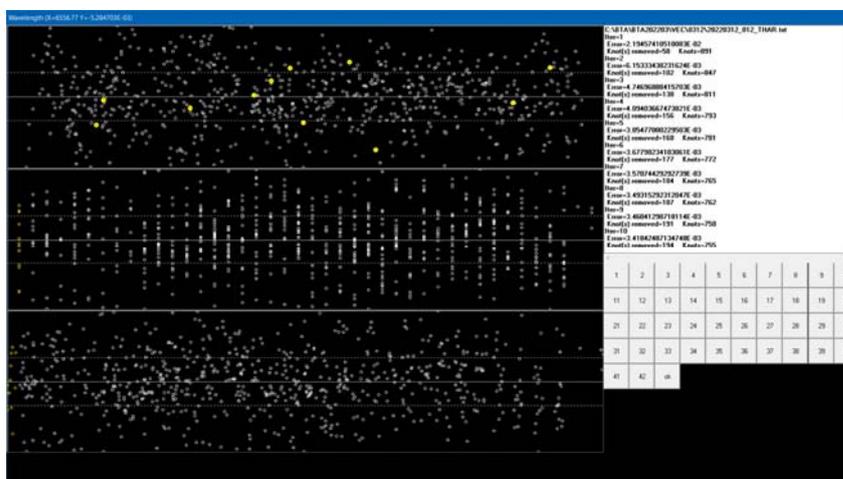


Рисунок 94 Результаты аппроксимации реперов всех порядков. Видно, что отсутствуют какие-либо тренды, т.е. степени полиномов подобраны правильно.

Нажимаем кнопку **OK**, возвращаемся в предыдущее меню. Здесь включаем триггер **process group of files in the directory**. Выделяем все экстрагированные спектры, включая суб-порядки звёздных спектров и спектров ThAr. Нажимаем кнопку **Write&Exit**. По завершению процедуры выходим из программы **dech-fits**.

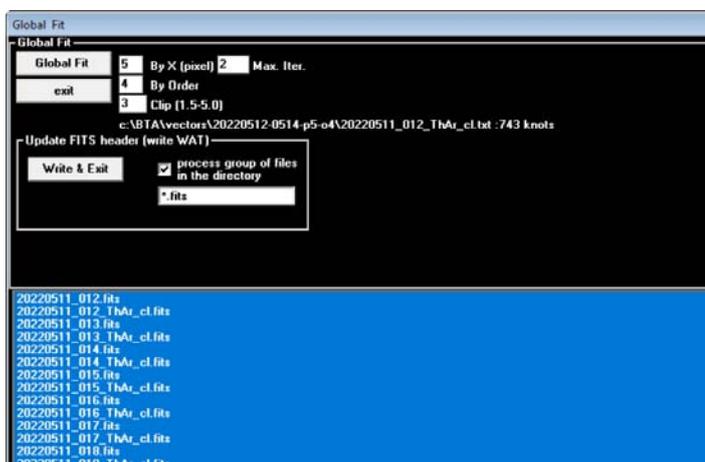


Рисунок 95 Запись шкалы длин волн в «тело» спектров. Шкала длин волн записывается в формате IRAF в каждый файл.

Выходим в каталог с экстрагированными спектрами. (Теперь эти спектры «оснащены» шкалой длин волн). Создадим каталог **ThAr** и копируем туда спектр **20220312_012_THAR.fits** и все его служебные файлы:

20220312_012_thar	dcm
20220312_012_THAR	fds
20220312_012_ThAr	fits
20220312_012_THAR	glb
20220312_012_THAR	txt

Распределяем файлы в отдельные каталоги согласно имени объекта:

Mv2dirs OBJECT *.fits

В результате будут созданы каталоги с именами объектов, указанных в поле OBJECT каждого файла. Файлы будут перенесены в соответствующий каталог:

[..]	<DIR>	
[ADS9346A]	<DIR>	
[ADS9346B]	<DIR>	
[lowsn]	<DIR>	
[Orig]	<DIR>	
[SIGMA_DRA]	<DIR>	
[ThAr]	<DIR>	
[TOI-1797]	<DIR>	
!log	log	1 892

Работаем с каждым объектом по очереди. Начнем, например, с ADS9346A. В базе данных SIMBAD находим точные координаты этого объекта:

ICRS coord. (*ep*=J2000) : **14 41 00.8517057456 +57 57 28.073178972 (Optical)**

Переходим в каталог **ADS9346A** и вводим команду:

rvcorr *.fits 2000.0 14 41 00.85 +57 57 28.07 SAO

Вместо ввода координат звезды можно создать файл **RVCORR.DATA** с координатами звезд и местом наблюдений (пока доступно только SAO). Пример такого файла:

SUN	2000.0	0	0	0	0	0	0	SAO
TOI1568	2000.0	00	35	57.29	+65	01	34.24	SAO
MUCAS	2000.0	01	08	16.30	+54	55	12.56	SAO
TOI1598	2000.0	01	54	38.50	+37	00	18.45	SAO
TOI1797	2000.0	10	51	06.51	+25	38	28.19	SAO
ADS9346A	2000.0	14	41	00.85	+57	57	28.07	SAO
ADS9346B	2000.0	14	41	01.56	+57	57	33.11	SAO
CHIDRA	2000.0	18	21	03.38	+72	43	58.25	SAO
SIGDRA	2000.0	19	32	21.59	+69	39	40.24	SAO
TOI1455	2000.0	20	34	40.78	+66	26	25.06	SAO
TOI1408	2000.0	20	54	02.61	+72	34	49.88	SAO
ADS15571A	2000.0	21	58	12.67	+82	52	10.56	SAO
ADS15571B	2000.0	21	58	19.73	+82	52	15.84	SAO
IOTPEG	2000.0	22	07	00.67	+25	20	42.36	SAO
TOI1516	2000.0	22	40	20.26	+69	30	13.45	SAO
OTAND	2000.0	23	20	01.22	+41	45	17.47	SAO

Тогда формат запуска программы упрощается до, например,

Rvcorr *.fits ADS9346A

Результатом работы программы являются определение гелиоцентрической дата, гелиоцентрическая поправки и поправки к Локальному Стандарту покоя. Все эти значения вносятся в FITS-шапку обрабатываемых файлов.

Таким же образом вносим поправки в спектры всех объектов.

Создание маски для кросс-корреляции

Измерение смещения спектров относительно друг друга производится методом кросс-корреляции. Однако, спектры могут содержать участки, непригодные для кросс-корреляции. Поэтому для каждого объекта создается маска. Маска представляет собой список длин волн фрагментов спектра (chunk'ов), пригодных для измерений. Для создания маски выбирается один из спектров с хорошим накоплением. Затем, в программе **DECH-FITS** используем процедуру «Curve/Masks & etc/Make CCF-chunks mask» (рис. 96):

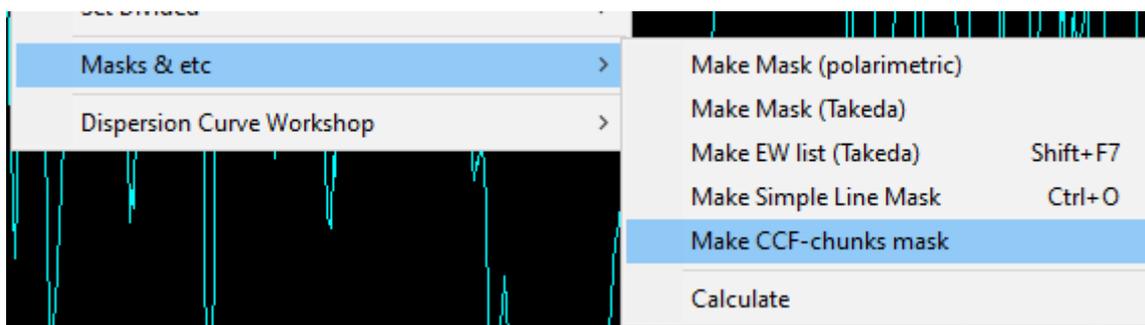


Рисунок 96.

Участки звездного спектра, отобранные для анализа, не должны содержать эмиссий от близлежащего спектра ThAr и др. артефакты не звездного происхождения.

Результатом является создание файла маски с расширением *.ccfm. Пример фрагмента маски:

```
DECH CCF CHUNKS
4372.35 4379.897
4386.217 4396.08
4411.278 4414.703
4419.462 4422.021
4423.501 4435.707
4445.598 4450.299
...продолжение
```

Измерение смещений

Предварительно создаем список спектров с информацией о времени экспозиции, дате наблюдений гелиоцентрической юлианской дате, гелиоцентрической поправке лучевой скорости:

```
rfits OBJECT EXPTIME DATE DECH-RA DECH-HJD-OBS VHELIO *.fits > llog.txt
```

Если в каталоге имеются спектры с короткой экспозицией, переносим их в каталог, скажем, LOWSN и не используем их для измерений. Кроме того, эта команда позволяет убедиться, что в наличии как гелиоцентрическая дата, так и гелиоцентрическая поправка лучевой скорости.

Рекомендуется начинать работу со стандарта, лучевых скоростей который должен наблюдаться каждую ночь. В нашем случае это SIGMA DRA. Лучевая скорость исследуемых объектов будет скорректирована с учетом лучевой скорости стандарта.

Итак, запускаем команду DECH-FITS в каталоге со спектрами, где должны быть как собственно спектры объектов, так и соответствующие спектры ThAr:

20210730_007	ccfrm	2 850
20210729_007	fits	252 840
20210729_007_ThAr	fits	252 840
20210729_008	fits	252 840
20210729_008_ThAr	fits	252 840
20210729_009	fits	252 840
20210729_009_ThAr	fits	252 840
20210729_010	fits	252 840
20210729_010_ThAr	fits	252 840
20210729_011	fits	252 840
20210729_011_ThAr	fits	252 840
20210729_012	fits	252 840
20210729_012_ThAr	fits	252 840

Для входа в процедуру измерений используем кнопку CCF программы DECH-FITS. См. рисунок 97:

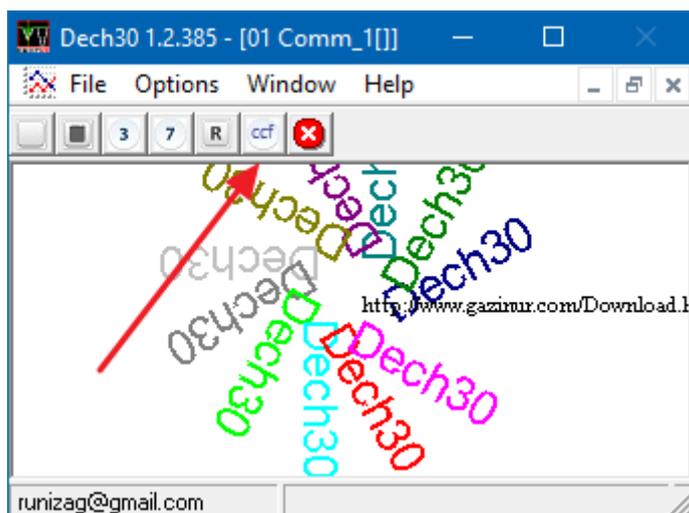


Рисунок 97

Теперь выбираем группу файлов для кросс-корреляции:

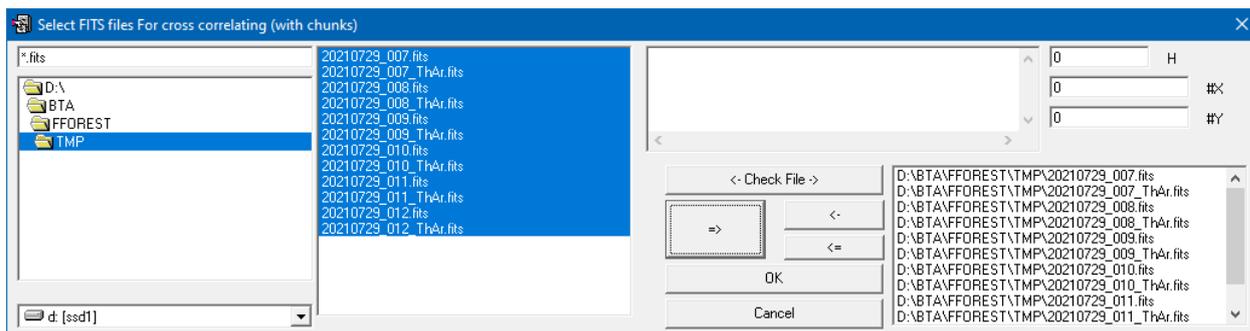


Рисунок 98

Устанавливаем параметры расчетов в новом окне расчета кросс-корреляционных функции и смещений:

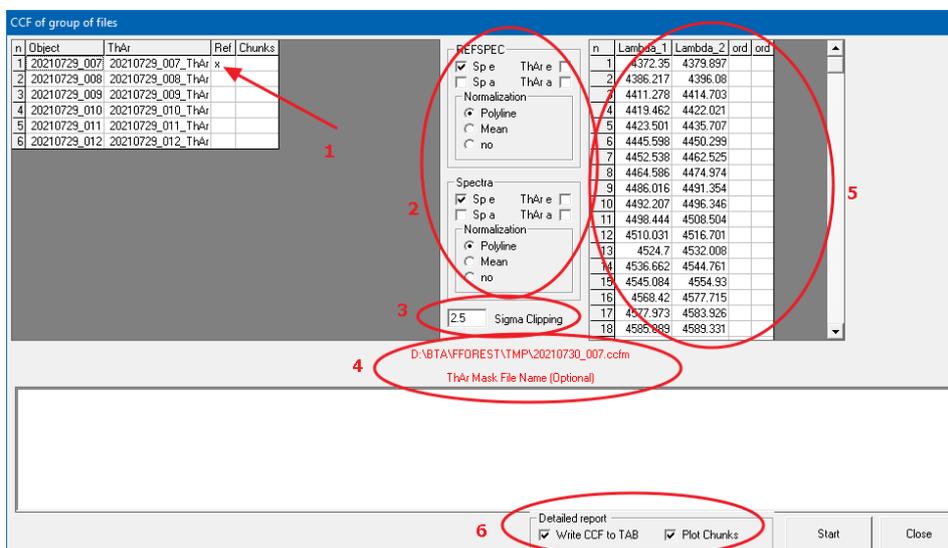


Рисунок 99

На рисунке 99:

1 – крестиком (в столбце Ref) указан спектр (template или REFSPEC), относительно которого будут измеряться смещения. В данном случае указан спектр **20210729_007**, т.е. результаты расчетов будут записаны в каталоге **rez_vs_20210729_007**. Для выбора другого template достаточно щелкнуть мышью в соответствующем поле столбца Ref, **2** – настройка очистки от артефактов отдельно для спектра, помеченного крестиком (REFSPEC) и остальных спектров. Собственно спектры и соответствующие им спектры ThAr указаны отдельно. Рекомендуется отказаться от очистки спектров ThAr и контроля абсорбции, как это указано на картинке. Также можно выбрать способ нормализации спектра (деление на псевдоконтинуум, на константу, отказ от нормализации). Деление на псевдоконтинуум предпочтительно. **3** – параметр **k**. После окончания расчетов вычисляется средняя лучевая скорость для всех участков маски (chunk'ов). При этом производится циклическая очистка от выбросов по критерию $k \cdot \text{Sigma}$, **4** – здесь можно выбрать маску. Если в рабочем каталоге только одна маска, она указывается автоматически. Чтобы поменять маску надо щелкнуть мышкой по имени файла маски. Для спектров ThAr также предусмотрена возможность указать маску. Если ее нет, будет выполняться кросс-корреляция спектральных порядков целиком, но это снижает точность. Поэтому наличие маски для ThAr приветствуется. Критерий для отбора

участков для маски в спектре ThAr следующий – следует избегать очень мощных линий. Оптимально, если выбранный участок содержит несколько сравнимых по интенсивности эмиссионных линий, **5** – список участков маски (chunk'и), **6** – параметры выдачи расширенной информации при выводе результата. При тестировании новых приборов или нового типа объектов может быть полезным иметь эту информацию. Первая опция создает таблицы с кросскорреляционной функции для каждого участка маски в каталоге **rez_vs_20210729_007/CCF**. Вторая опция создает графики всех участков спектров и кросскорреляционных функций всей выборки в каталогах **rez_vs_20210729_007/Chunks** и **rez_vs_20210729_007/Chunks-ThAr** для спектров объектов и спектров ThAr соответственно. Включение этих опций замедляет работу, создается множество файлов, что требует дополнительного места на диске.

Для начала расчетов нажать кнопку **Start**. По окончании расчетов будет получено примерно следующее (рис. 100):

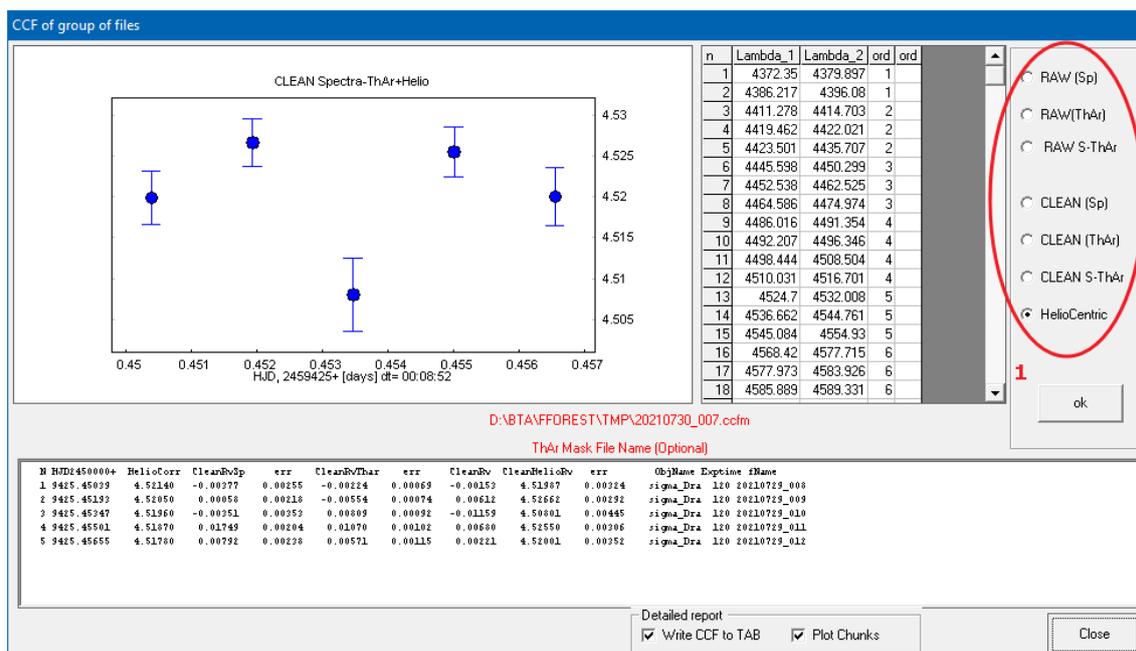


Рисунок 100

Итоговый результат получается более точным при использовании маски для ThAr и без среднего по дате спектра на картинке сверху (как видно на рисунке, он показывает более высокий уровень ошибки среднего значения лучевой скорости. При сравнений с другими спектрами выяснилось что спектр имеет более низкое соотношение S/N чем другие спектры выборки) :

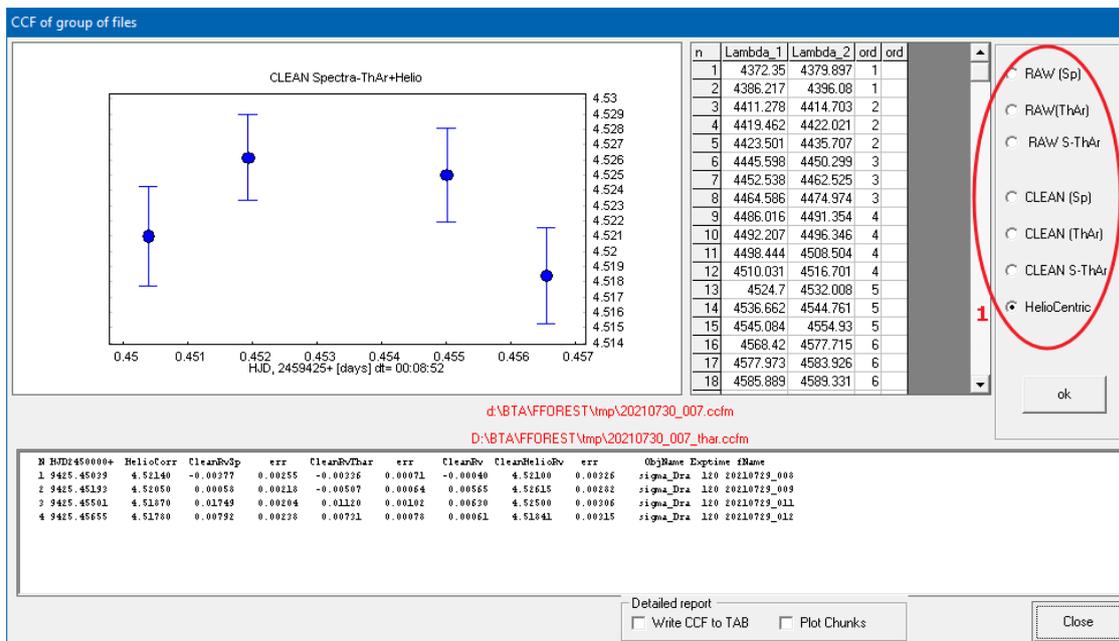


Рисунок 101

На рисунке 101, на панели справа (в овале, помеченном номером 1) можно выбрать график:

- По умолчанию показан т.н. график **HelioCentric** – это средние лучевые скорости для каждого спектра (относительно template) после очистки методом SigmaSlip, с учетом гелиоцентрической поправки и с учетом инструментальной поправки по ThAr. В каталоге rez_vs_20210729_007 имеется этот же график в виде jpg файла **summary-mask=20210730_007_CleanSp-ThAr+Helio.jpg**.
- График **CLEAN S-ThAr** – тоже самое, но без гелиоцентрической поправки (jpg файл **summary-mask=20210730_007_CleanSp-ThAr.jpg**).
- График **CLEAN (ThAr)** – очищенные от “плохих” chunks расчеты для спектров ThAr (jpg файл **summary-mask=20210730_007_CleanThAr.jpg**).
- Наконец, график **CLEAN (Sp)** – очищенные от “плохих” chunks расчеты для спектров объектов без каких-либо поправок (jpg файл **summary-mask=20210730_007_CleanSp.jpg**).

Также есть возможность посмотреть на результаты усреднения без очистки от плохих chunks: это графики **Raw(Sp)**, **Raw (ThAr)**, **Raw S-ThAr** (сделана инструментальная поправка) и соответствующие файлы:

summary-mask=20210730_007_RawSp.jpg,
summary-mask=20210730_007_RawThAr.jpg
summary-mask=20210730_007_RawSp-ThAr.jpg.

Кроме того, в каталоге rez_vs_20210729_007 представлены графики для всех chunk'ов для каждого спектра объекта и спектра ThAr отдельно. Например, **20210729_008_SpChunks.jpg** и **20210729_008_ThAr.jpg** для спектра 20210729_008.fits и соответствующего ему спектра ThAr 20210729_008_ThAr.fits: Оба графика друг за другом (рис. 102 и 103):

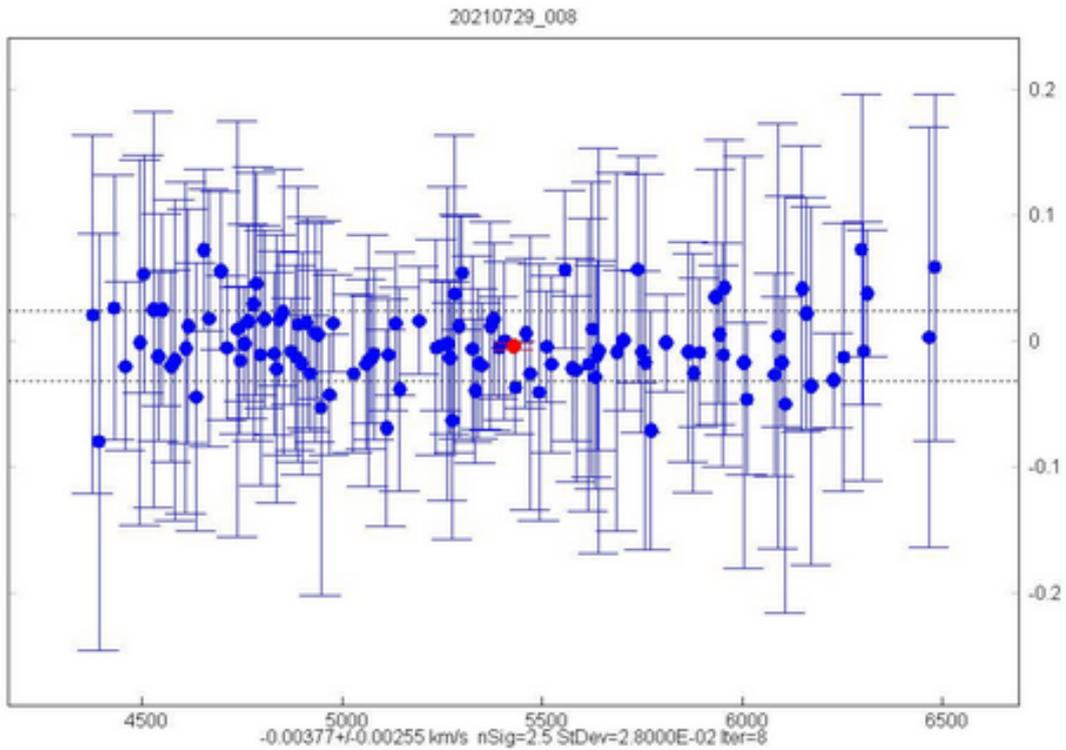


Рисунок 102

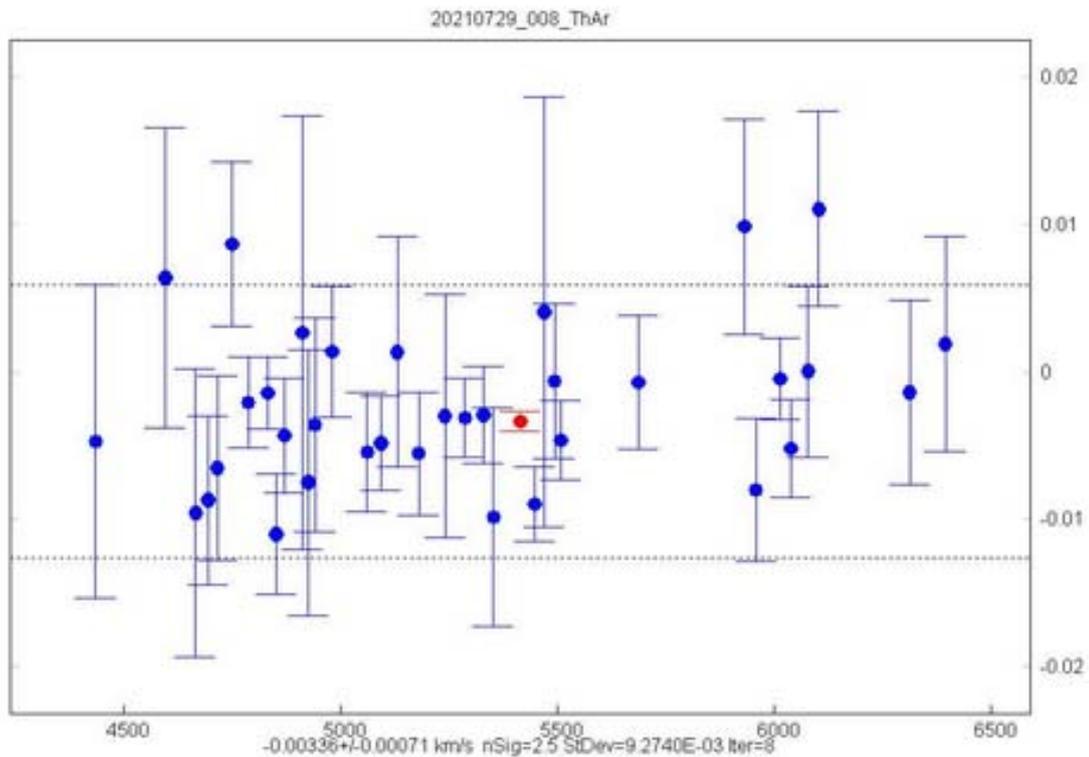


Рисунок 103

Синие кружки с барами ошибок соответствуют отдельным участкам маски (chunk'am) а красный кружок в центре с баром ошибок – результат вычисления среднего значения методом SigmaClip. Под каждым графиком это среднее значение дано в численном виде. Также указаны критерий очистки для автоматического SigmaClip алгоритма, среднееквадратическое отклонение и количество

итераций. Две прерывистые линии указывают границы, в пределах которых находятся «хорошие» точки. Т.е., в данном случае это $2.5 * StdDev$ вверх и вниз от абсолютного среднего значения, указанного красным кружком.

Результаты расчётов представлены также в табличной форме. Например, спектру 20210729_008.fits соответствует файл 20210729_008.txt. Первые несколько строк такого файла выглядят следующим образом:

1	0.02092	0.14234	001	171	431	4376.112
2	-0.07986	0.16535	001	661	1041	4391.149
3	-0.50345	0.51238	002	224	340	4412.978
4	-0.05430	0.23228	002	508	600	4420.742
5	0.02648	0.10494	002	653	1124	4429.590
6	106.31147	4.48018	003	101	257	4447.919
7	-0.02010	0.06692	003	334	687	4457.532
8	0.04080	0.41879	003	762	1166	4469.767
9	0.08586	0.08467	004	160	337	4488.670

...продолжение

Здесь: первая колонка – номер участка спектра (chunk'a), вторая и третья колонка – лучевая скорость и ошибка измерения для данного chunk'a относительно template. Видно, что 6-ой chunk показывает большое отклонение от среднего. Очевидно, он будет удален из рассмотрения при SigmaClip очистке. В 4-ой колонке указан номер спектрального порядка, в 5-ой и 6-ой – номера пикселей границ chunk'a. Наконец, в последней, седьмой колонке указан длина волны середины chunk'a в ангстремах.

В файле summary-20210730_007.txt дана сводная информация:

```
Mask=d:\BTA\FFOREST\tmp\20210730_007.ccfm
Mask=D:\BTA\FFOREST\tmp\20210730_007_thar.ccfm
HJD2450000+ HelioCorr CleanRvSp err CleanRvThar err CleanRv CleanHelioRv err ObjName Exptime fName
1 9425.45039 4.52140 -0.00377 0.00255 -0.00336 0.00071 -0.00040 4.52100 0.00326 sigma_Dra 120 20210729_008
2 9425.45193 4.52050 0.00058 0.00218 -0.00507 0.00064 0.00565 4.52615 0.00282 sigma_Dra 120 20210729_009
3 9425.45501 4.51870 0.01749 0.00204 0.01120 0.00102 0.00630 4.52500 0.00306 sigma_Dra 120 20210729_011
4 9425.45655 4.51780 0.00792 0.00238 0.00731 0.00078 0.00061 4.51841 0.00315 sigma_Dra 120 20210729_012
Mean: 9425.45347 4.52291 0.00180
```

Где первые две строки – имена масок для спектров объектов и ThAr соответственно. Затем дана таблица с вычисленными значениями для каждого из 4х спектров. Здесь:

1. Номер спектра по порядку,
2. гелиоцентрическая дата середины экспозиции,
3. гелиоцентрическая поправка [км/с],
4. «очищенная» лучевая скорость относительно template и ее ошибка без учета поправок;
5. «очищенная» лучевая скорость ThAr относительно template и ее ошибка;
6. «очищенная» лучевая скорость относительно template с учетом инструментальной поправки;
7. «очищенная» лучевая скорость относительно template и ее ошибка с учетом инструментальной и гелиоцентрической поправок;
8. Имя спектра

В последней строке указана средняя гелиоцентрическая дата для всех 4х спектров выборки и средняя лучевая скорость для всех 4х спектров с учетом инструментальной и гелиоцентрической поправки.

Также представлена более краткая версия этой таблицы. В файле **summary-20210729_012-HelioRVonly.txt** дается только «очищенная» лучевая скорость относительно template и ее ошибка с учетом инструментальной и гелиоцентрической поправок:

9425.45039	4.52100	0.00326
9425.45193	4.52615	0.00282
9425.45501	4.52500	0.00306
9425.45655	4.51841	0.00315

Наконец самый компактный файл **summary-20210729_012-mean.txt** содержит только среднее значение лучевой скорости с обеими поправками, ее ошибку и количеством спектров использованных для расчета этих величин:

Mean_HJD	MeanRV	MeanRvErr	N
9425.45347	4.52291	0.00180	4

Учет абсолютной инструментальной поправки и связывание наблюдательных сетов.

Учет инструментальной поправки ThAr позволяет учесть смещения инструментального происхождения, имеющие место в течение наблюдательной ночи. Однако, инструментальные смещения от ночи к ночи и на длинной шкале времени таким способом не исправить. Причины: спектрограф находится на этапе отладки, не установлена система непрерывной заливки азота и т.п. Как уже было указано выше, для учета таких смещений необходимо каждую ночь наблюдать стандарт лучевых скоростей. В результате измерений лучевой скорости такого стандарта создается таблица для различных юлианских дат, когда проводились наблюдения. С 2021 г. по настоящее время в качестве такого стандарта используется звезда Sigma Dra ($RA_{2000}=19^h32^m21.59^s$, $DEC_{2000}=+69^{\circ}39'40.2''$, $V=4.68$). Результаты измерений этой звезды сохраняются в файле sigDra-RV.txt, который должен храниться в том же каталоге, где установлен пакет программ DECH. Пример содержания файла sigDra-RV.txt:

Mean_HJD	MeanRV	MeanRvErr	N
9425.45347	4.52310	0.00098	4
9426.46364	4.56348	0.01038	8
9427.41249	4.48380	0.00169	6
9428.47909	4.49354	0.00200	3
9429.41474	4.50287	0.00221	5
9478.44291	4.28638	0.00541	8
9484.44658	4.27834	0.00537	12
9486.41812	4.29364	0.00621	12
9508.40333	4.08077	0.00309	15
9509.46081	4.16022	0.00490	16
9510.40542	4.11120	0.00209	14
9511.56899	4.10357	0.00703	9
9532.39449	4.02744	0.00483	10
9536.19269	4.01785	0.00177	11
9537.18538	4.00316	0.00359	11
9538.57710	3.97222	0.00442	9
9540.38661	3.97423	0.00502	11
9624.22170	4.37638	0.00361	12
9625.28754	4.41051	0.00597	12
9626.40484	4.38756	0.00607	12
9632.52312	4.38710	0.00419	18
9651.38205	4.39355	0.00364	10
9653.42544	4.34771	0.00373	11
9659.38719	4.35420	0.00303	10
9660.41936	4.34911	0.00349	12
9661.28440	4.35400	0.00263	10

9662.43184	4.34891	0.00914	12
9711.38521	3.85118	0.00582	12
9712.30653	3.86756	0.00677	11
9713.22916	3.79634	0.00508	14
9714.23832	3.84248	0.00618	12
9745.46681	3.95430	0.00545	12
9798.25871	4.11460	0.00451	15
9799.35054	4.10256	0.00406	11
9801.23886	4.11501	0.00425	10
9802.22182	4.11983	0.00638	11
9834.18355	4.28531	0.00596	13
9835.19367	4.26189	0.00351	12
9863.42858	4.27322	0.00412	11
9892.16018	4.17115	0.00665	12
9896.12146	4.17238	0.00400	12
9897.13337	4.16785	0.00412	12
9898.47338	4.19801	0.00282	11
9899.12346	4.16888	0.00683	12
9920.32227	4.18142	0.00582	19
9921.12449	4.18136	0.00920	12
9945.14537	4.28405	0.00700	12
9947.16498	4.31101	0.00319	14
9948.16556	4.28977	0.00893	13

Т.е. в этом файле собраны результаты измерений Sigma Dra для всех дат из файлов вида **summary-???????_???.txt**.

Собственно, учет поправки, полученной с помощью стандарта Sigma Dra выполняется программой **SigDra.exe** пакета **DECH**.

Пример учета поправки:

1. Например, для некоторой звезды были получены спектры в течение двух ночей. В результате обработки и анализа был получен файл **summary-SomeObject.txt**. Содержание файла следующее:

```
Mask=C:\BTA\vectors\SomeObject\20220312_031.ccfm
Mask=C:\BTA\vectors\20220321_039_thar.ccfm
HJD2450000+ HelioCorr CleanRvSp err CleanRvThar err CleanRv CleanHelioRv err ObjName Exptime fName
1 9920.50218 12.16660 -21.07024 0.02192 0.51729 0.01725 -21.58754 -9.42094 0.03917 ADS9346A 300 20221206_088
2 9920.50581 12.16760 -21.08747 0.02219 0.52048 0.01609 -21.60795 -9.44035 0.03828 ADS9346A 300 20221206_089
3 9920.50943 12.16850 -21.04960 0.02926 0.51497 0.01757 -21.56456 -9.39606 0.04683 ADS9346A 300 20221206_090
4 9920.51305 12.16930 -21.07650 0.02269 0.52133 0.01847 -21.59783 -9.42853 0.04116 ADS9346A 300 20221206_091
5 9920.51667 12.17000 -21.00147 0.02989 0.52275 0.01600 -21.52422 -9.35422 0.04589 ADS9346A 300 20221206_092
6 9921.57292 12.21130 -21.15881 0.02370 0.53651 0.01801 -21.69532 -9.48402 0.04171 ADS9346A 420 20221207_114
7 9921.57793 12.21000 -21.13854 0.03124 0.51115 0.02044 -21.64969 -9.43969 0.05168 ADS9346A 420 20221207_115
8 9921.58294 12.20860 -21.11726 0.02730 0.51681 0.01953 -21.63407 -9.42547 0.04682 ADS9346A 420 20221207_116
9 9921.58795 12.20700 -21.13627 0.02606 0.55440 0.01609 -21.69067 -9.48367 0.04214 ADS9346A 420 20221207_117
10 9921.59298 12.20520 -21.15350 0.02519 0.53569 0.01870 -21.68919 -9.48399 0.04388 ADS9346A 420 20221207_118
Mean: 9921.04619 -9.43743 0.01285
```

2. Выполняем команду **SIGDRA summary-SomeObject.txt**. В результате будет создан файл **summary-SomeObject.corrected.txt** со следующим содержанием:

```
HJD RV RVErr orig orig Err SigDraRV SigDraRVErr SigDraHJD Exptime Object FileName
9920.50218 -13.60236 0.04499 -9.42094 0.03917 4.18142 0.00582 9920.32227 300.0 ADS9346A 20221206_088
9920.50581 -13.62177 0.04410 -9.44035 0.03828 4.18142 0.00582 9920.32227 300.0 ADS9346A 20221206_089
9920.50943 -13.57748 0.05265 -9.39606 0.04683 4.18142 0.00582 9920.32227 300.0 ADS9346A 20221206_090
9920.51305 -13.60995 0.04698 -9.42853 0.04116 4.18142 0.00582 9920.32227 300.0 ADS9346A 20221206_091
9920.51667 -13.53564 0.05171 -9.35422 0.04589 4.18142 0.00582 9920.32227 300.0 ADS9346A 20221206_092
9921.57292 -13.66538 0.05091 -9.48402 0.04171 4.18136 0.00920 9921.12449 420.0 ADS9346A 20221207_114
9921.57793 -13.62105 0.06088 -9.43969 0.05168 4.18136 0.00920 9921.12449 420.0 ADS9346A 20221207_115
9921.58294 -13.60683 0.05602 -9.42547 0.04682 4.18136 0.00920 9921.12449 420.0 ADS9346A 20221207_116
9921.58795 -13.66503 0.05134 -9.48367 0.04214 4.18136 0.00920 9921.12449 420.0 ADS9346A 20221207_117
```

Где в колонках **RV** и **RVerr** (вторая и третья) находятся **окончательные значения лучевой скорости изучаемого объекта за указанную в первой колонке дату**. В последних трех колонках дается ближайшая в таблице sigDra-RV.txt дата наблюдений стандарта Sigma Dra и лучевая скорость стандарта с ее ошибкой.

Отметим, что среднее значение (средняя дата, средняя скорость и ее ошибка), приведенные в первом файле как **Mean: 9921.04619 -9.43743 0.01285** не имеют особого смысла, поскольку в данном случае мы имеем дело с данными для двух ночей. Поэтому в файле **summary-SomeObject.corrected.txt** «среднее» не приводится. Для вычисления средних значений для каждой ночи по отдельности используем программу **ShowRv.exe** из пакета **DECH**.

Пример работы с данными из файла **summary-SomeObject.corrected.txt** (см. пункт 2):

- Выполняем команду: **ShowRv.exe summary-SomeObject.corrected.txt**. В окне программы (рис. 104) показаны индивидуальные измерения лучевой скорости с барами ошибок (синим цветом) и их среднее значение (зеленым цветом). Над графиком информация в численном виде.

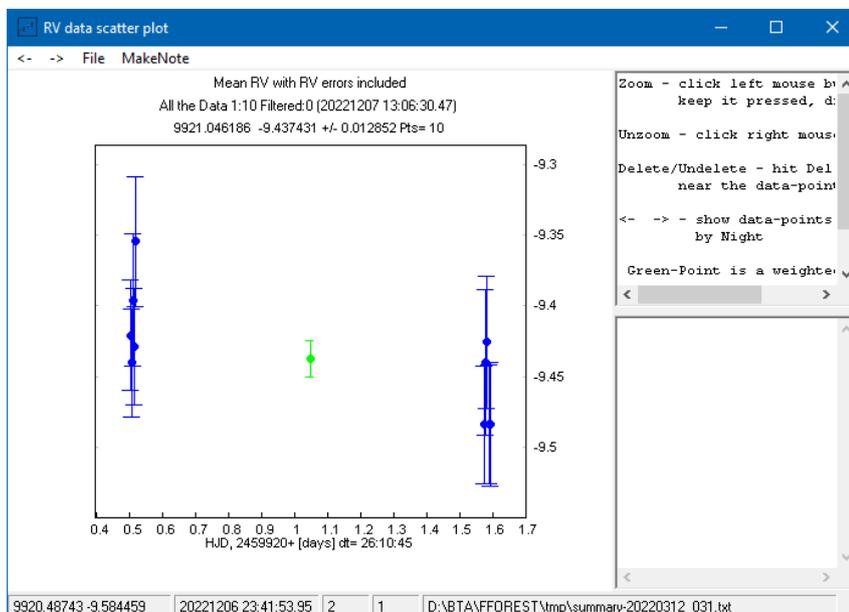


Рисунок 104

Очевидно, среднее значение для двух ночей (как на графике рис.104) интереса не представляет. Для получения среднего значения для отдельной группы данных (одной ночи отдельно) предоставляется два способа (см. также инструкцию правой верхней панели программы – рис. 104):

- выделить область с интересующей группой данных с помощью мыши – нажать левую кнопку мыши и «нарисовать» прямоугольник, включающий эту группу (нажать правую кнопку для возврата к первоначальному виду) *или*
- воспользоваться опциями меню <- или -> (рис. 104) для «перемещения» между юлианскими датами

В каждом случае среднее значение будет пересчитано и показано зеленым цветом на графике и в численном виде над графиком. Для удаления из рассмотрения «плохих» точек необходимо разместить курсор ближе к этой точке и нажать D – точка станет красной и будет исключена из

рассмотрения. Среднее значение будет немедленно пересчитано (рис. 105). Если нажать D вблизи «плохой» точки еще раз – точка вернется в группу «хороших», среднее значение будет пересчитано.

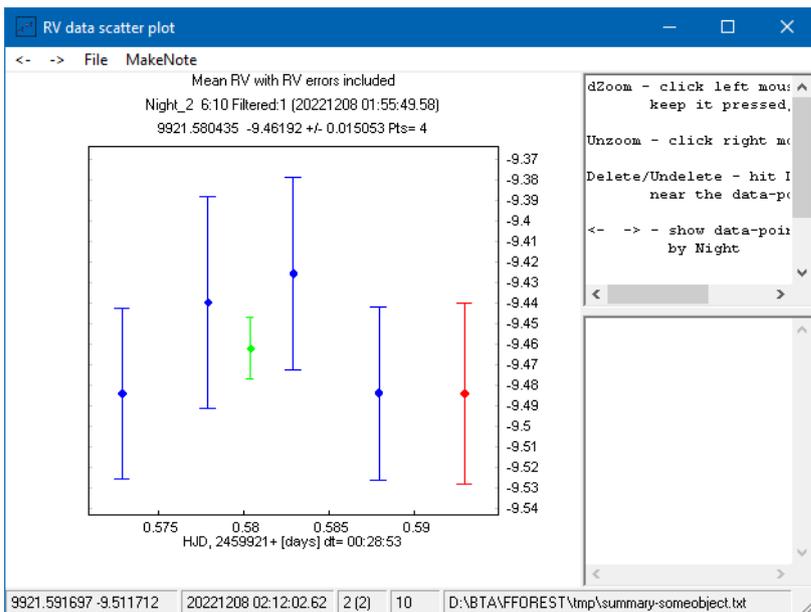


Рисунок 105