

Многорезжимный фокальный редуктор телескопа БТА

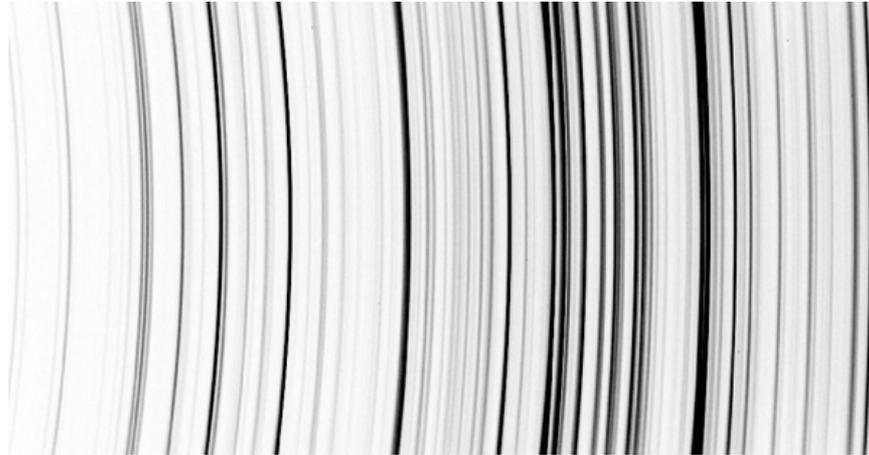
Лекция IV.

Коррекция геометрии и плоское поле (продолжение). Учет фона неба, проблема аппаратного контура.

Геометрические искажения

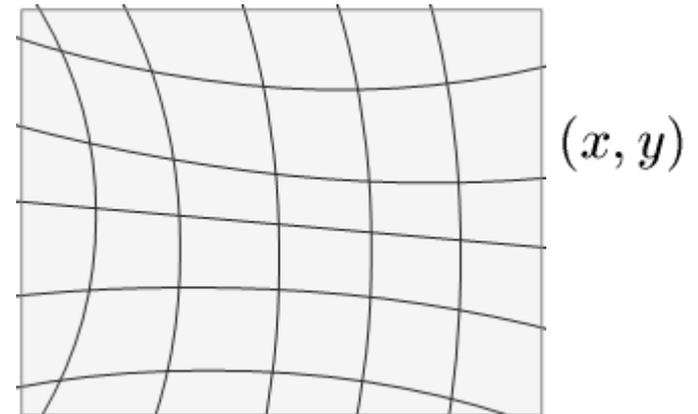
$$(x', y') = G(x, y)$$

Форма линий линейчатого спектра



$$x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij} x^i y^j, y = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m b_{ij} x^i y^j$$

$$(m, n = 2 - 4)$$

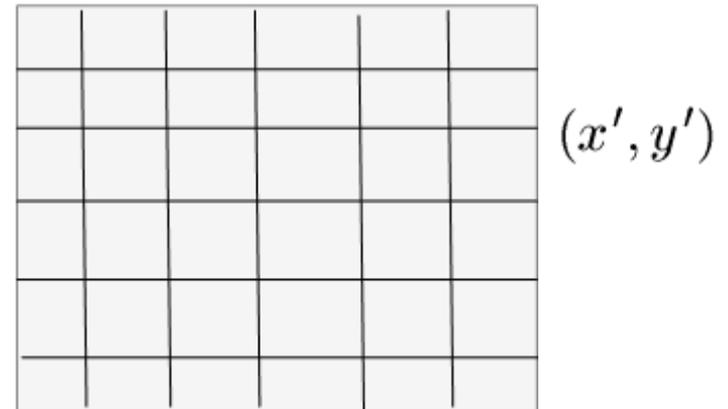


(x, y)

Направление дисперсии:

SCORPIO: по спектрам звездообразных об-в

SCORPIO-2: по 13-точечному тесту

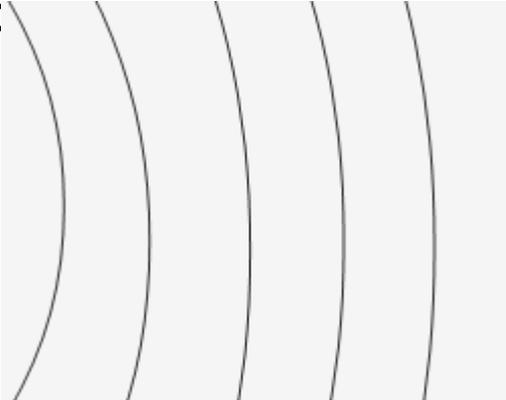


(x', y')

На практике – бывает удобно разделить

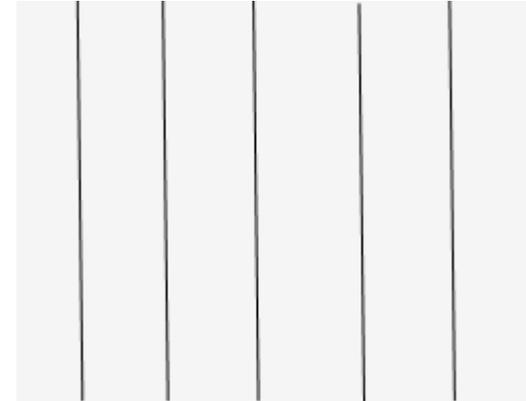
$$(x', y') = G(x, y)$$

1) warp_x:



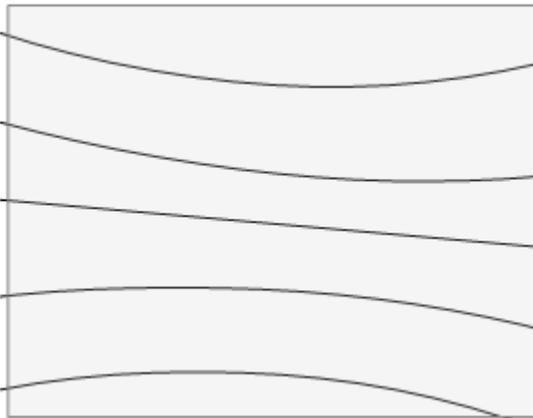
$$x' = G_x(x, y)$$

$$y' = y$$



2) Нормировка на flat

3) warp_y:



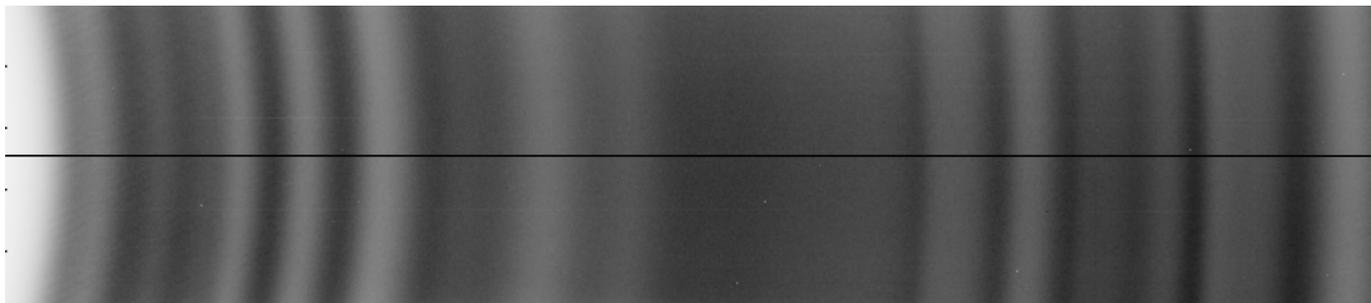
$$x'' = x$$

$$y'' = G_y(x', y')$$

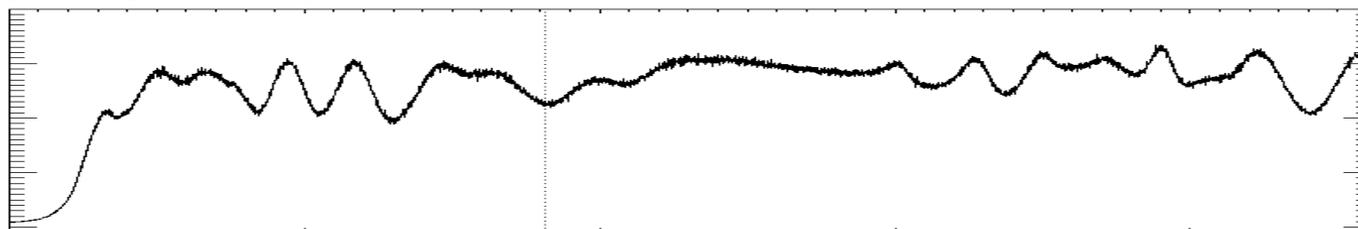


Нормированный flat field без коррекции

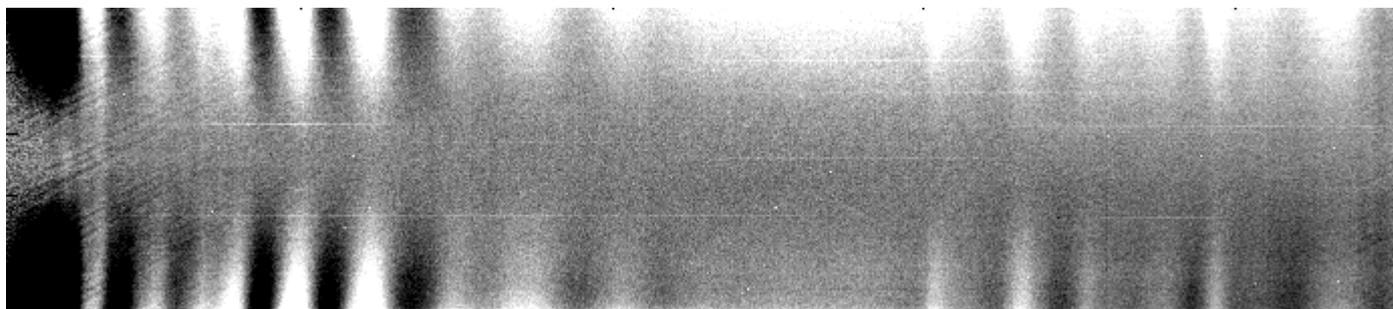
Исходный (flat LEDs, VPHG1200@540)



Разрез через центр:

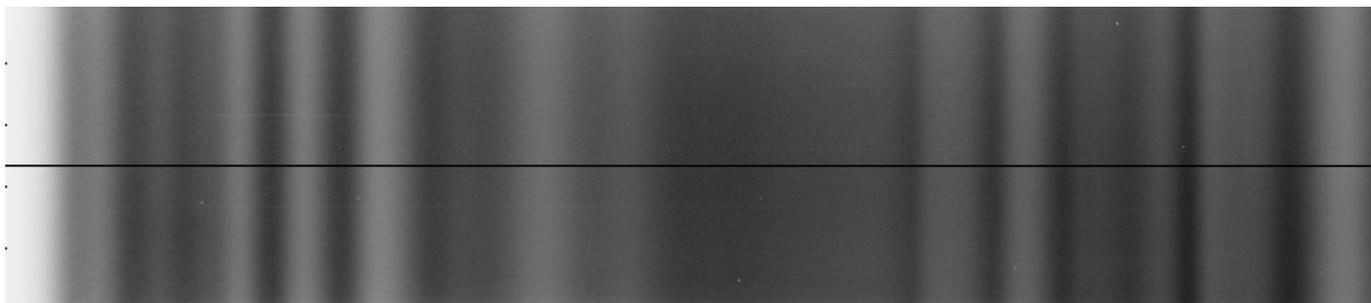


Нормировка (0.9/1.1):

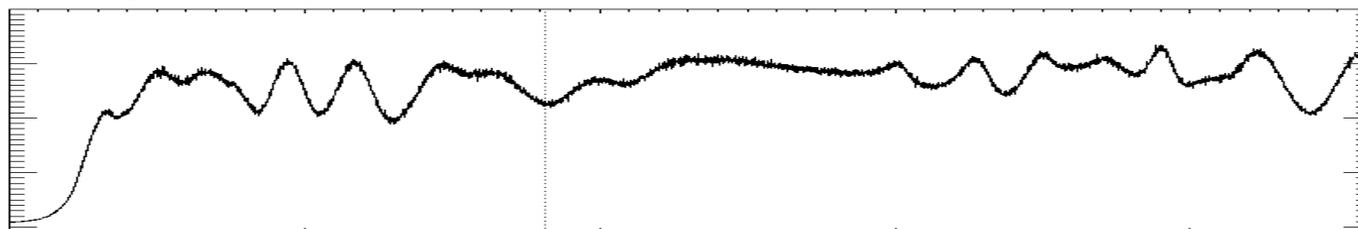


Нормированный flat-field после геом. коррекции

Исправление по форме линий неон:



Разрез через центр:



Нормировка (0.9/1.1):



Проблема выбора оптимальной методики

В спектральном плоском поле смешаны:

- мелкомасштабные неоднородности, которые следуют геометрии ПЗС-детектора (x,y) : попиксельные вариации чувствительности, плохие столбцы, пыль на оптике.
- крупномасштабные неоднородности, связаны с геометрией спектров (x',y') : пыль на щели, клиновидность щели, виньетирование, неоднородность спектра вдоль дисперсии



Проблема выбора оптимальной методики

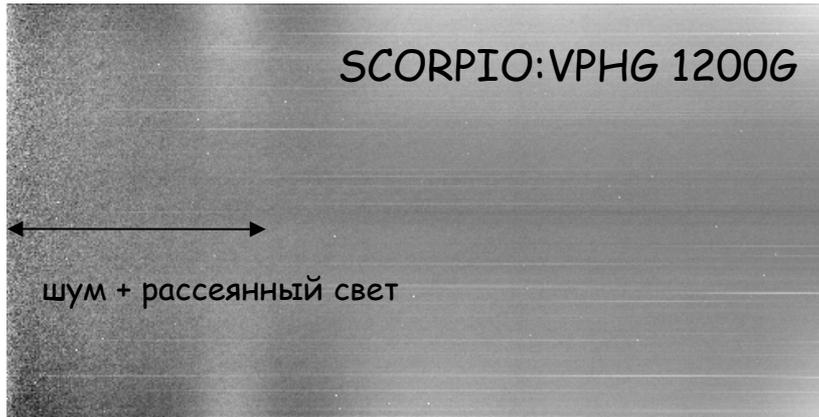
В отличие от фотометрического «плоского поля» (рассветное небо, superflat и т. п.), мы не можем равномерно засветить все пиксели, так как есть дисперсия решетки и спектральное распределения яркости лампы.

Приходится выбирать различные способы нормировки:

- деление на сглаженный спектр центральных строк
- нормировка на сглаженное изображение (медиана с широким окном и т. п.) для учета мелкомасштабных вариаций + отдельно исправление виньетирования вдоль щели (усреднение сглаженного спектра лампы или неба...).

Нужно ли вообще деление на flat?

Важно проверить — не вносит ли деление дополнительных шумов

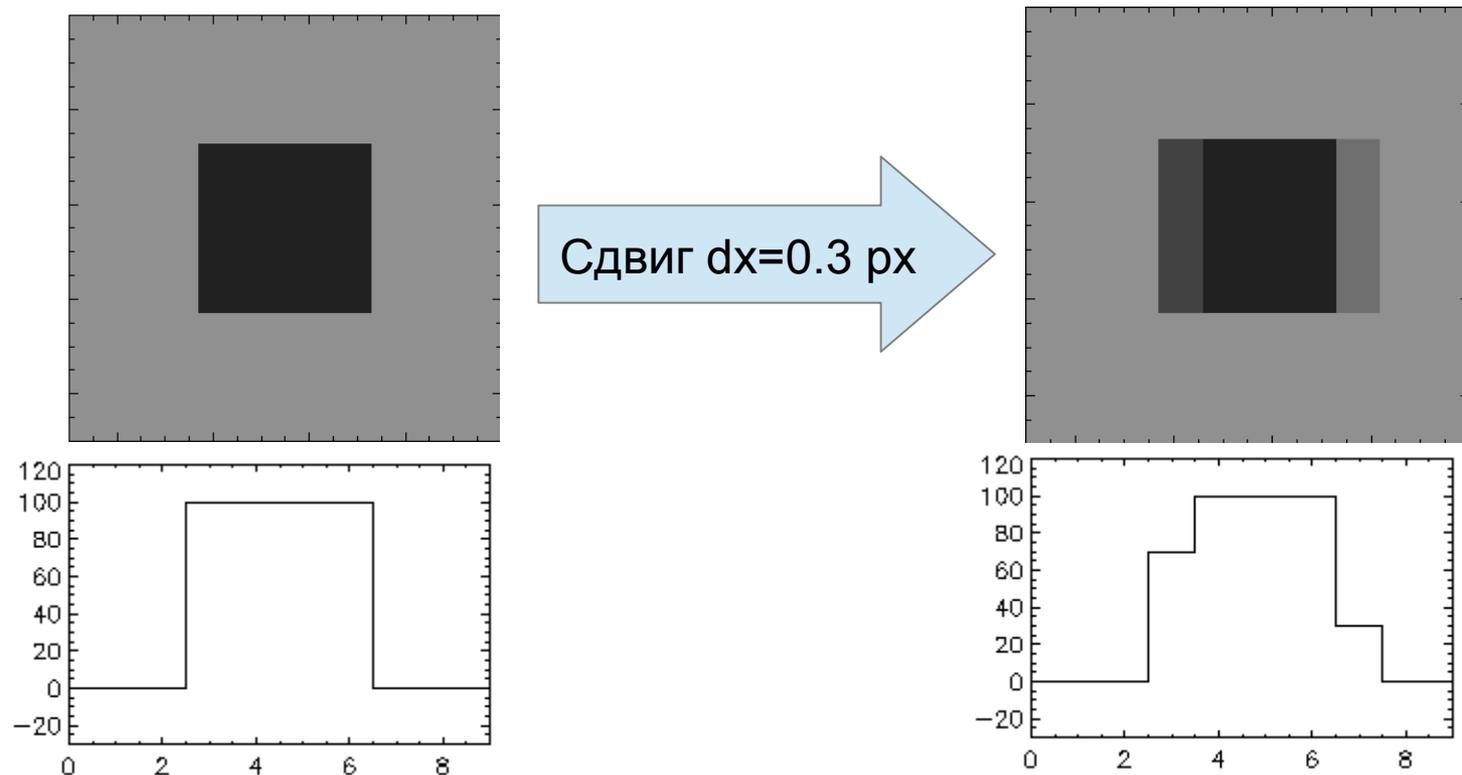


← нормированное плоское поле от галогенной лампы вносит излишние шумы в синей части спектра (Лекция 3)

Часто речь идет об исправлении локальных неоднородностей на уровне $<10\%$. Несущественно при спектроскопии ярких звезд, но может оказаться критически важным при вычитании фона неба для слабых и/или протяженных объектов

Проблема интерполяции

Геометрические преобразования — портят исходное изображение, так как выполняется интерполяция на фиксированную координатную сетку

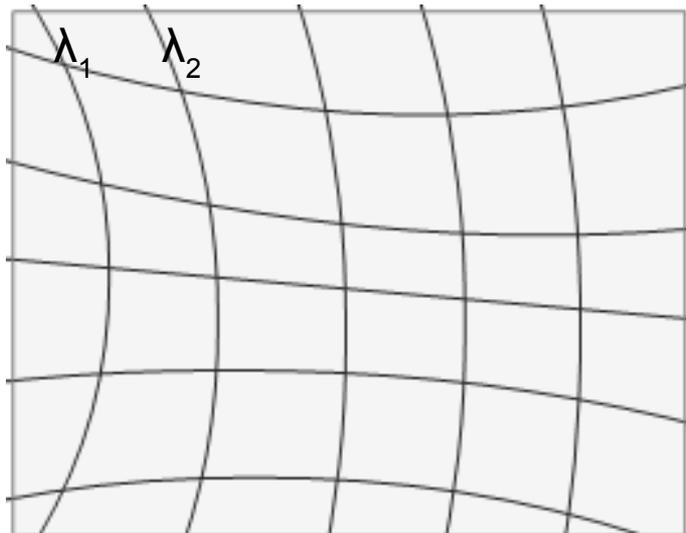


Искусственное разбиение на более мелкие пиксели — лишь частично решает проблему, сильно загружая вычислительные ресурсы

Не объект к калибровкам, а калибровки к объекты!

Обработка современных IFU (MUSE/VLT и т. д.) - идея сохранения первоначальной дискретизации

Т.е. вместо 2D FITS-изображения (запись I в каждом пикселе) — переход к таблицам, где кроме I, в каждом пикселе еще записаны преобразованные координаты (x',y')

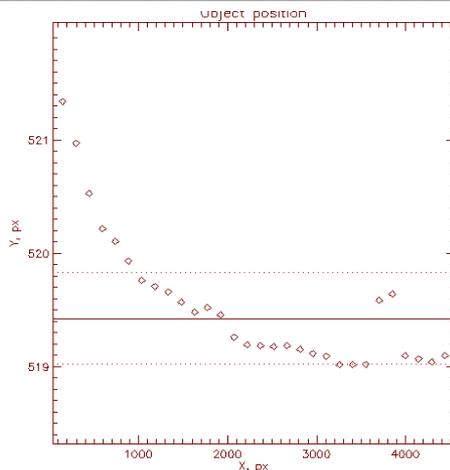
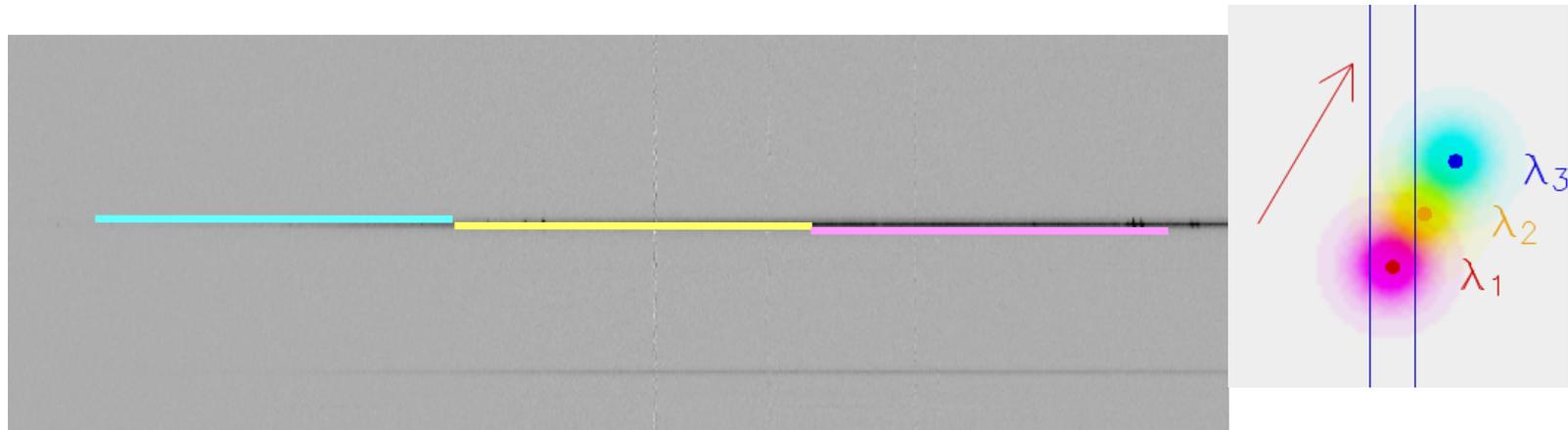


В итоге, лишь одно преобразование — экстракция линейризованного спектра, после вычитания неба и исправления за кривые пропускания !

Но требуется специализированный софт, в том числе и для визуализации на разных этапах обработки

И еще о направлении спектров

Даже после исправления геометрических искажений по 13 dots, спектр может быть направлен не точно вдоль X, так как есть атмосферная дисперсия (Лекция 2)



← пример измерения положения ядра галактики NGC4710 для $z=41$, dPA=10.

В некоторых задачах этот сдвиг может быть существенен (измерение отношения далеко отстоящих линий и т.д.),

Тогда выполняем еще коррекцию по направлению спектра, благо она линейная (Δy зависит только от x).

Набор калибровок в течении ночи:

BIAS (1x2, 2x2,..)

Slitpos

«Идеальный куб»

MAP (2x2)

NEON

OBJ (1x2)

OBJ

NEON

13 dots

2x FLAT

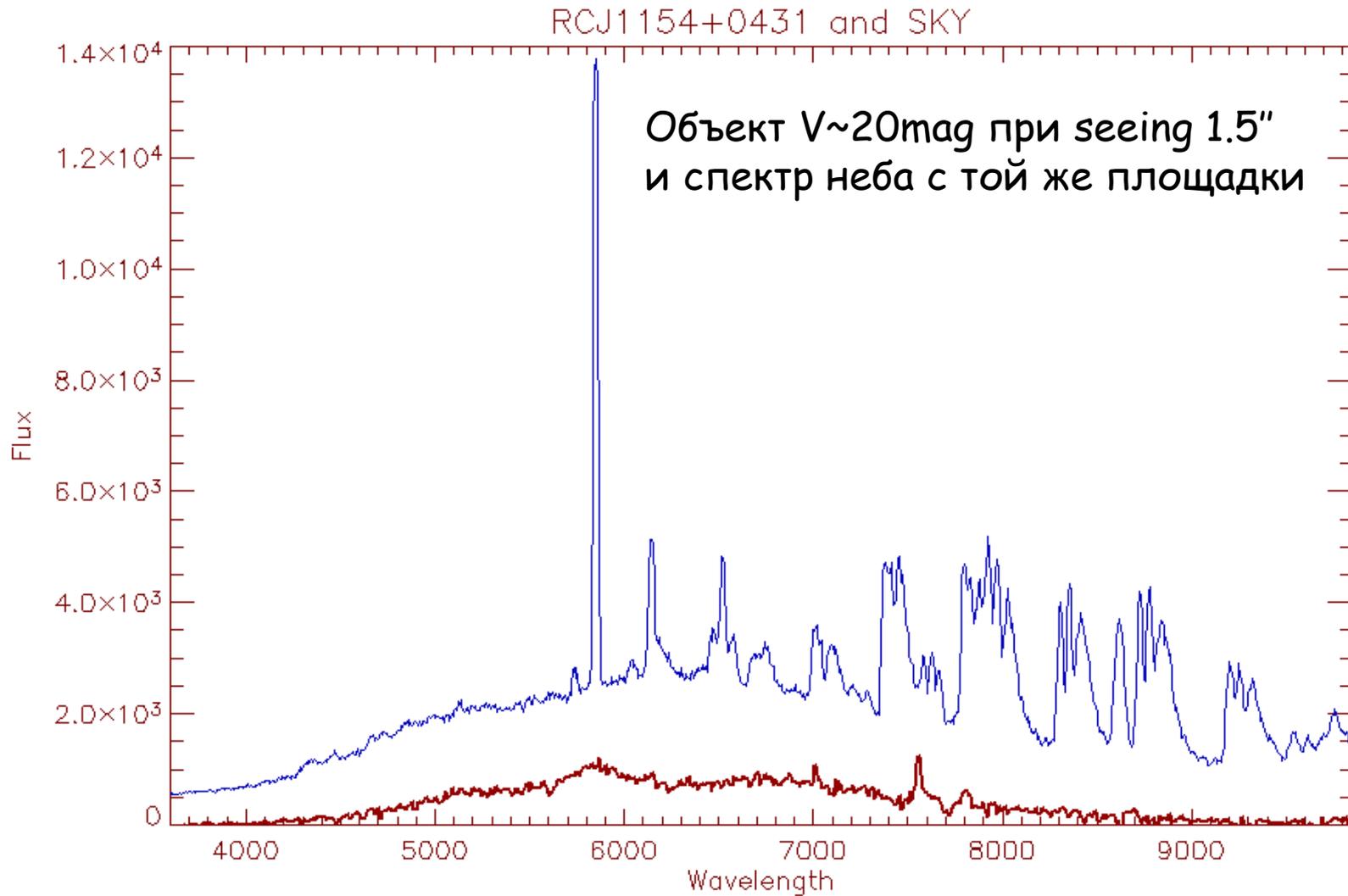
BIAS (1x2, 2x2,..)

Ввод/вывод гризмы и вращение турелей – являются, по сути, сборкой-разборкой прибора. Калибровка (как минимум NEON) после перестановки механических элементов является обязательной, если требуется точная привязка по длинам волн!

Для сокращения потерь времени можно снять калибровки (с полными экспозициями вечером/утром, а ночью снимать короткие экспозиции неон и 13 dots, только для учета относительных сдвигов.

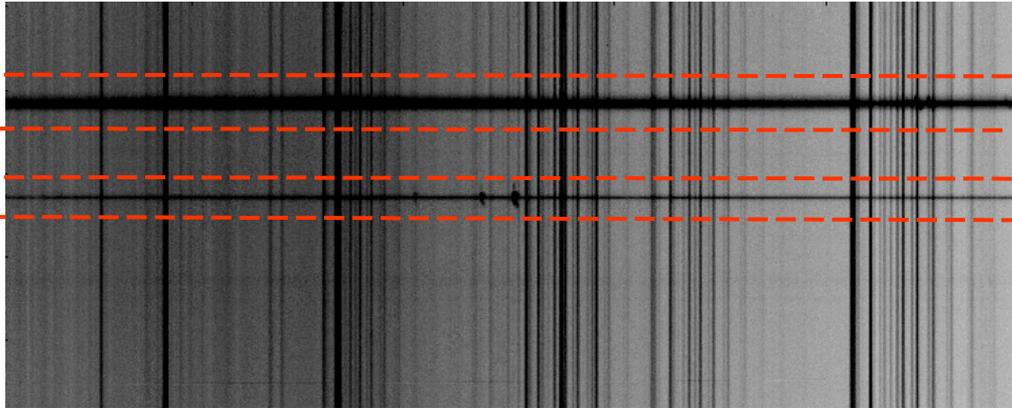
(С ИФП мы так всегда и работаем, см. следующую лекцию)

Вычитание фона неба

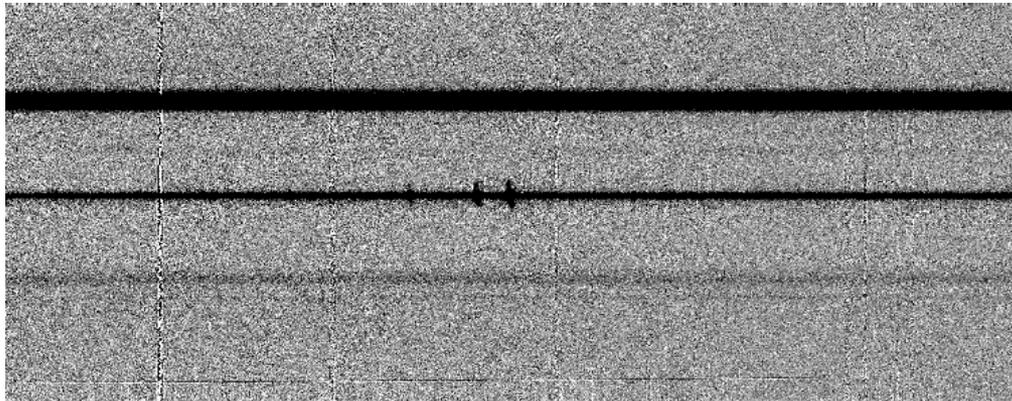


Для слабых объектов «морфологический шум» при вычитании фона неба может оказаться более существенным, нежели формальный шум из статистики фотонов!

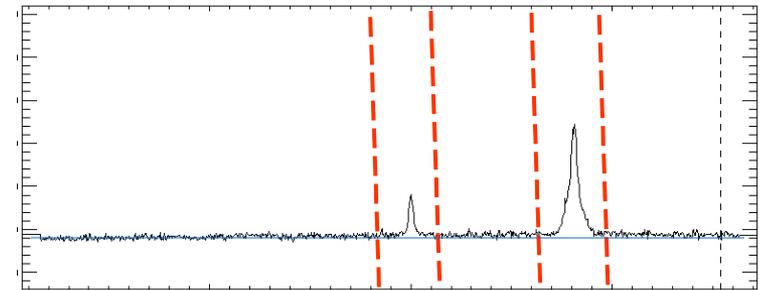
Вычитание фона неба: протяженные объекты



Результат вычитания:

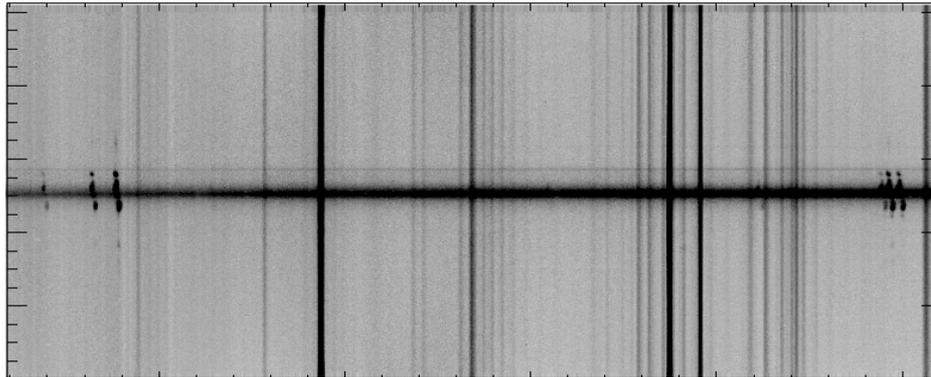


Аппроксимация спектра неба
вдоль щели полиномом

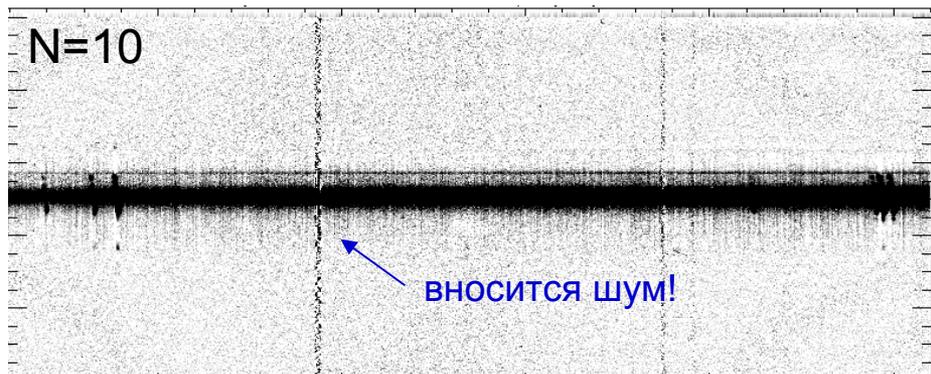
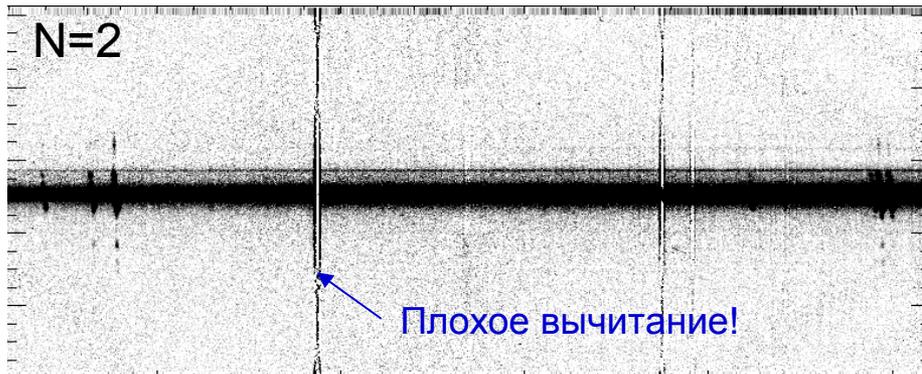
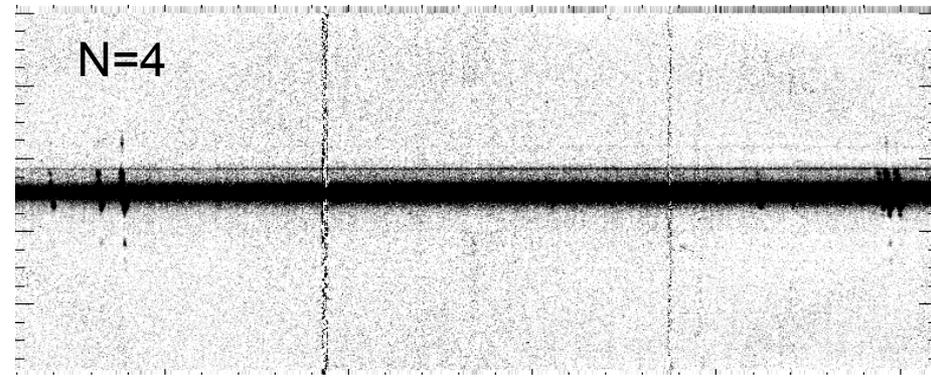
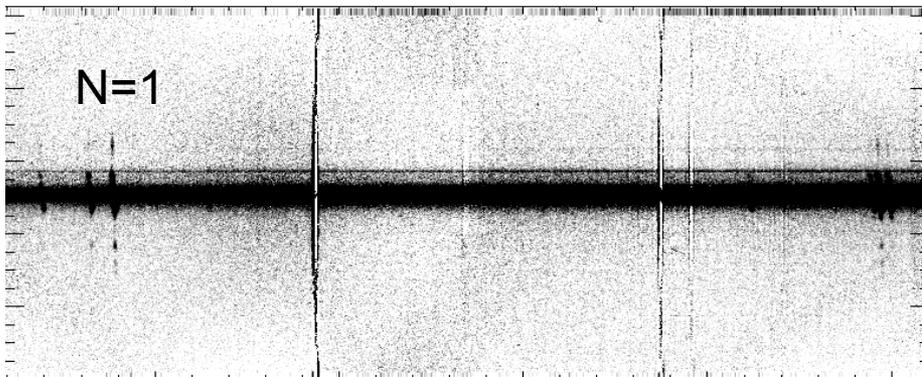


Области вокруг ярких объектов
исключаются из расчета

Вычитание фона неба: выбор режима



Оптимальная степень
полинома $N=3-4$



Вычитание фона неба: «продвинутые методы»

Отличие степени полинома от 0 — попытка учесть изменения аппаратного контура вдоль щели (LSF= line spread function). Для спектроскопии слабых протяженных (>2-3') объектов эти вариации особенно существенны и требуется их более строгий учет.

Chilingarian (2009), Katkov & Chilingarian (2011):

- LSF(λ, y) — измеряется по рассветному небу (подгонка солнечным спектром высокого разрешения)
- параметризация LSF (Гаусс-Эрмит)

At every position along the slit, we change the LSF shape inside this night sky spectrum using a Fourier-based technique into the LSF at that slit position. The observed sky spectrum is a convolution of a true spectrum with the LSF:

$$R(\lambda, y) = R_0(\lambda) * LSF(\lambda, y); \quad S(\lambda, y) = S_0(\lambda) * LSF(\lambda, y), \quad (1)$$

where \bar{y} — position at the sky definition region. The night sky spectrum at current position along slit can be expressed as follows:

$$S(y, \lambda) = FFT^{-1} \left(\frac{FFT(S(\bar{y}, \lambda))}{FFT(R(\bar{y}, \lambda))} \cdot FFT(R(y, \lambda)) \right). \quad (3)$$

Вычитание фона неба: «продвинутые методы»

144

Katkov and Chilingarian

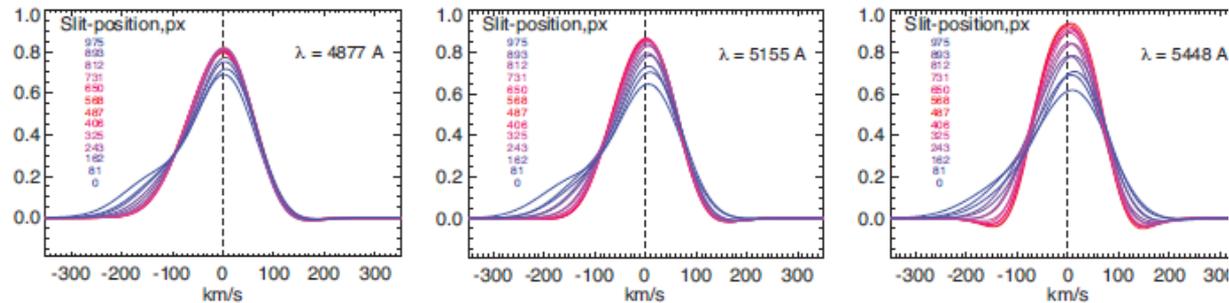


Figure 1. An example of the LSF shape of the SCORPIO reconstructed from the twilight frame at different wavelength and slit positions. We used the Gauss-Hermite LSF representation. One can see that the profile asymmetry increases towards the

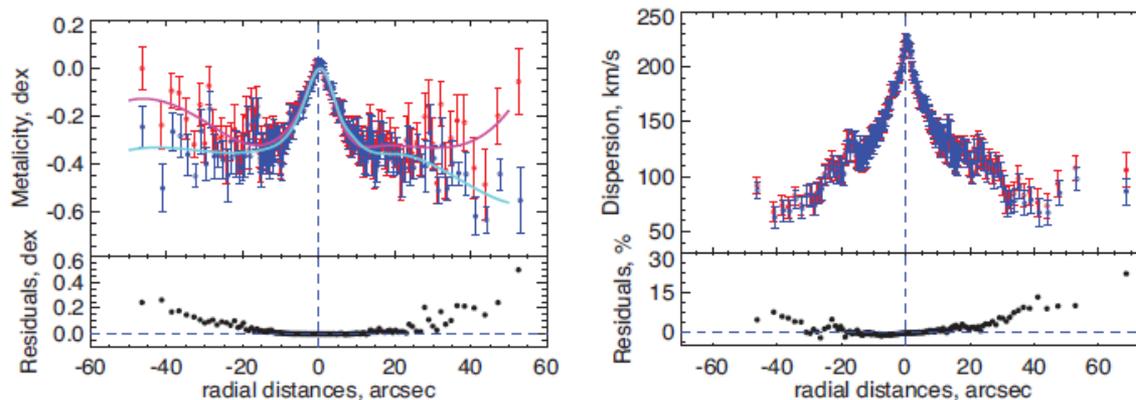
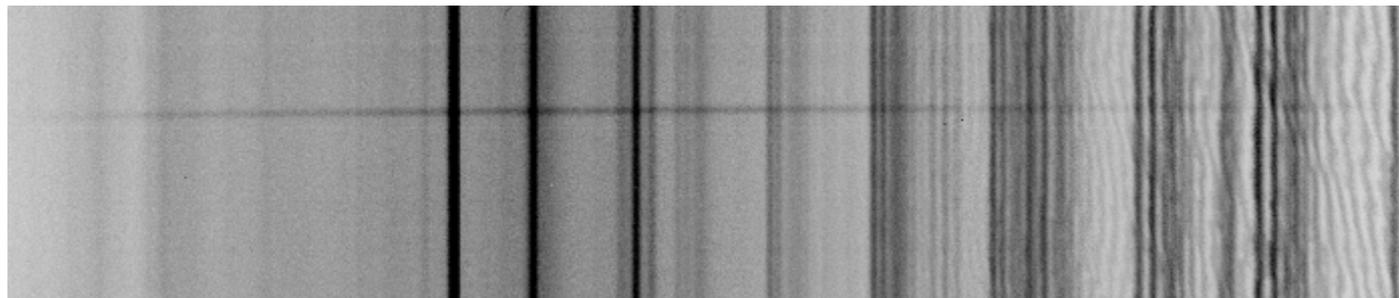
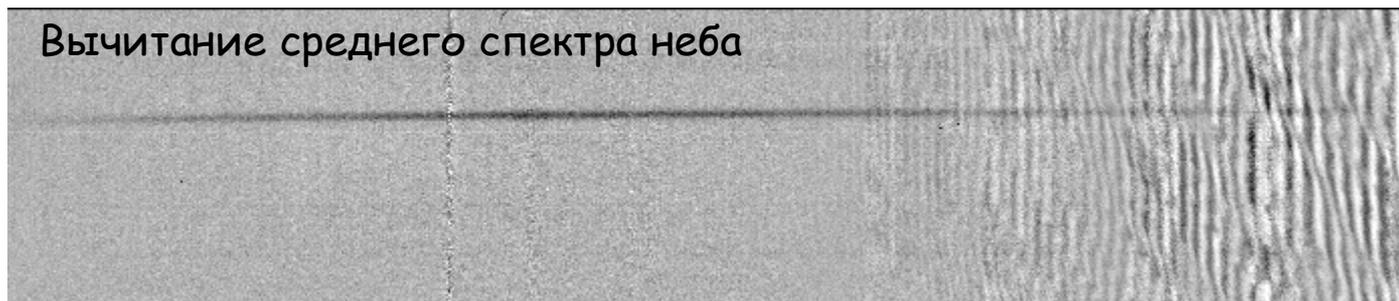


Figure 3. Comparison between traditional technique and our deconvolution. The two panels on the left display the internal velocity dispersion profiles of NGC 5440. Blue data points are for the new technique, while red ones are for the “classical approach”. Differences between the two approaches are displayed in the bottom panel. The two panels on the right hand side display the stellar metallicity profiles of NGC 5440 using the same symbols and colors as on the left hand side panels.

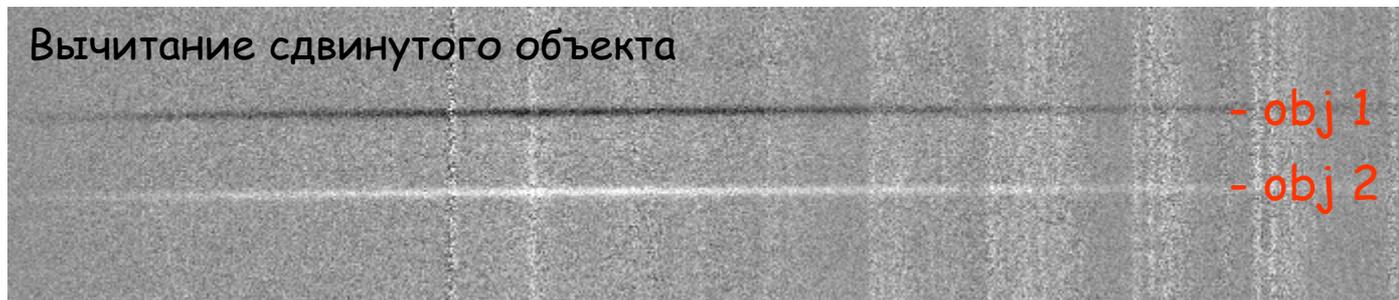
Сдвиги вдоль щели.



Вычитание среднего спектра неба



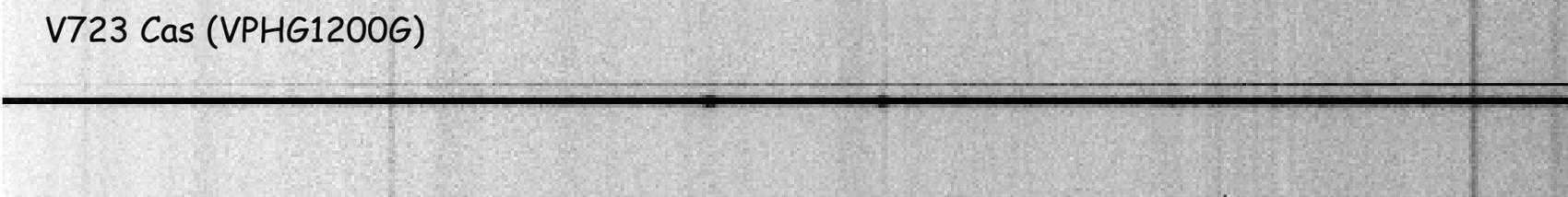
Вычитание сдвинутого объекта



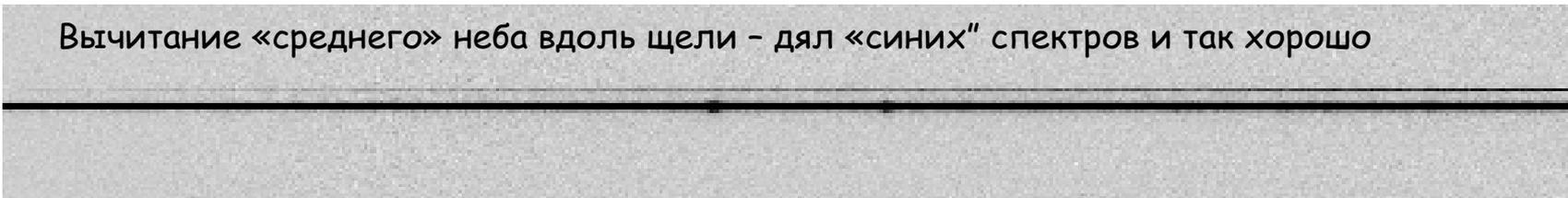
- Значительно лучше вычитаются фринги
- Но меняется относительная интенсивность линий неба - нужны короткие экспозиции (5-10 мин)
- Проблемы с протяженными объектами

Сдвиги вдоль щели: всегда ли необходимы?

V723 Cas (VPHG1200G)



Вычитание «среднего» неба вдоль щели - для «синих» спектров и так хорошо



- Точность сдвигов вдоль щели ограничена точностью механических подвижек микроскопов платформы-адаптера, возможны смещения объекта относительно центра щели (до 0.5"), что приводит к заметной потере света.

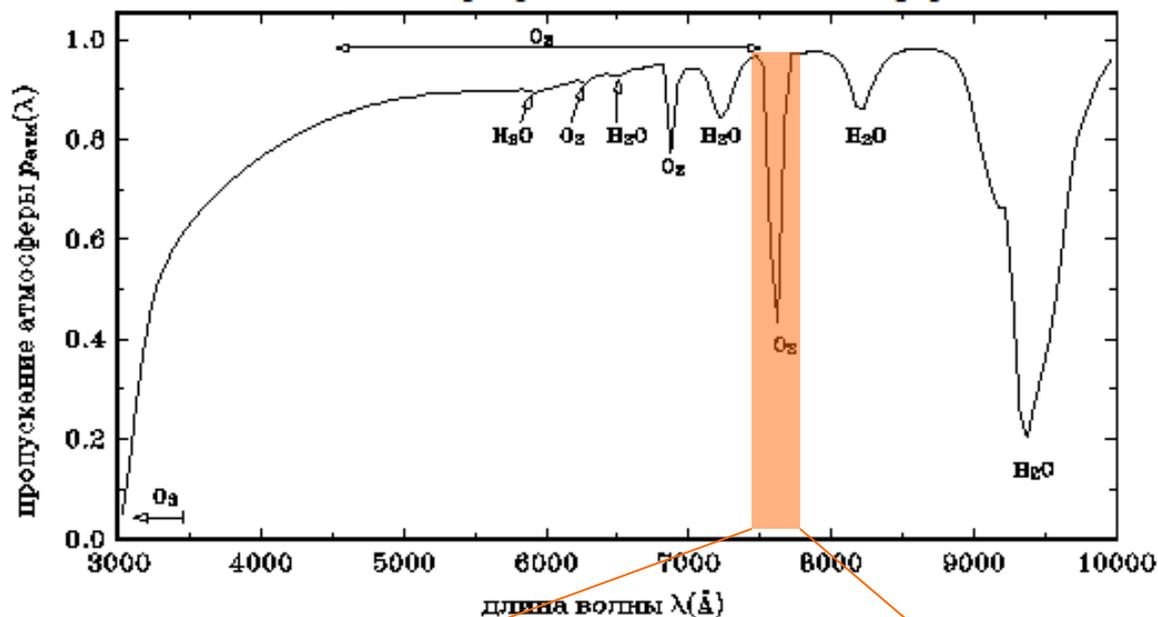
- Вносятся дополнительные шумы:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{obj+sky}^2 + \sigma_{sky}^2} \approx \sigma_{obj+sky} \sqrt{2}$$

в то время, как при вычитании среднего вдоль щели: $\sigma \approx \sigma_{obj+sky} \sqrt{1 + \frac{1}{N_y}}$

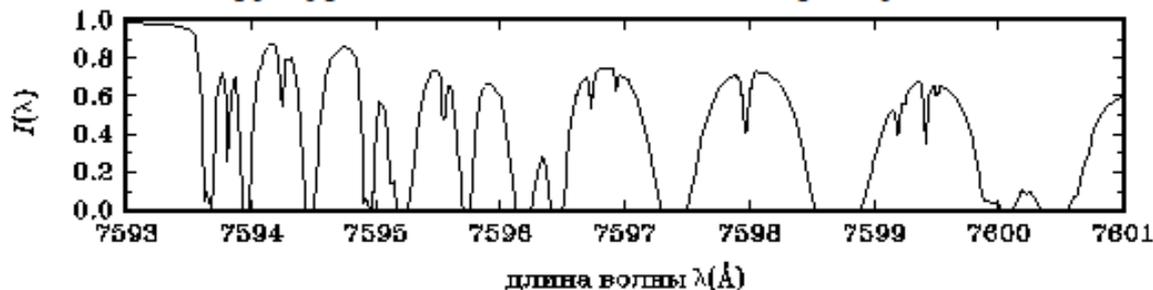
Атмосферные полосы поглощения.

Рис. 4.13: Сводная зависимость прозрачности чистой атмосферы от длины волны

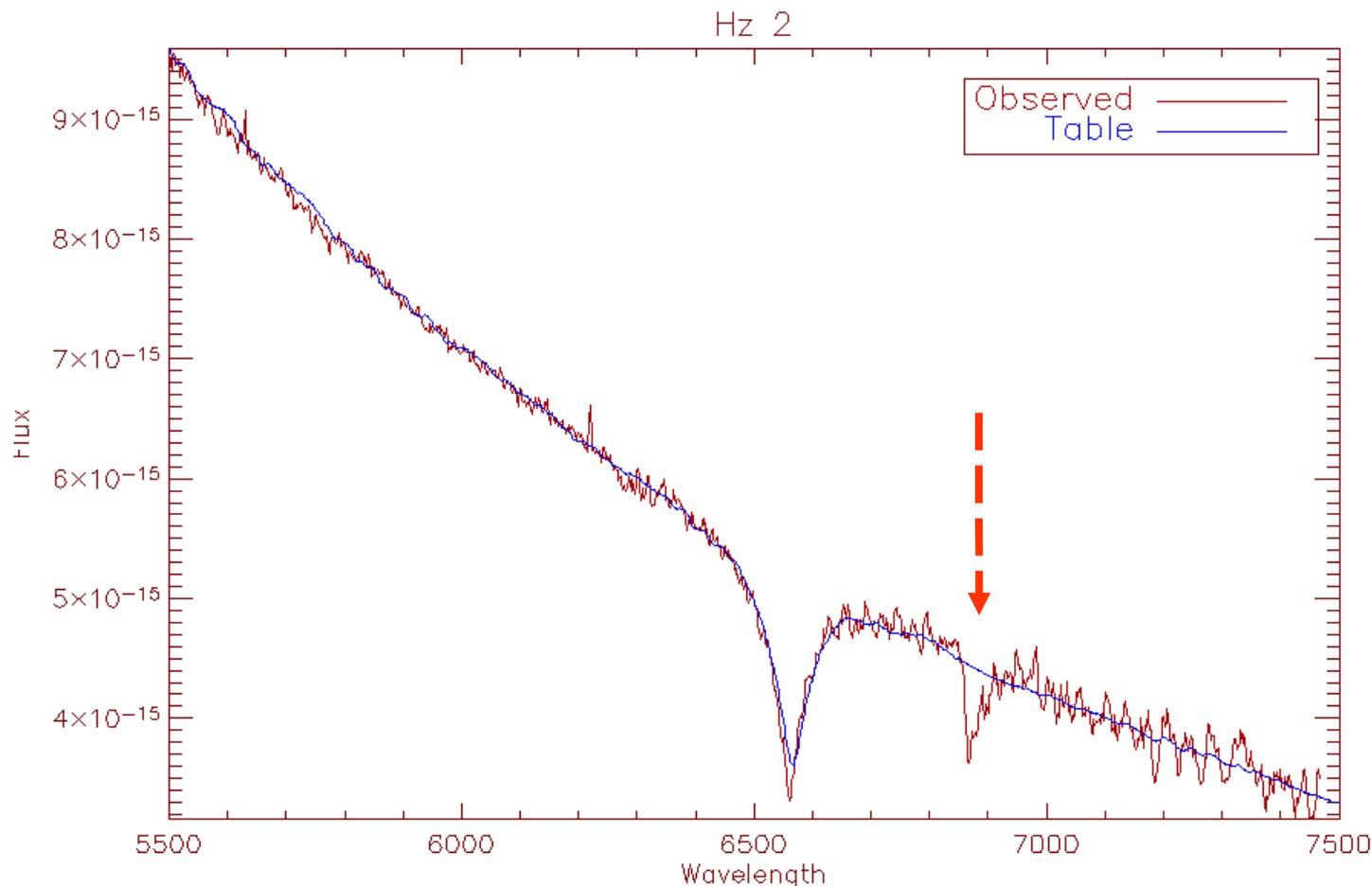


Полосы поглощения молекулярного кислорода и воды могут создать проблему для спектрофотометрии в красной части спектра

Рис.: Структура полосы поглощения кислорода у $\lambda 7600 \text{\AA}$



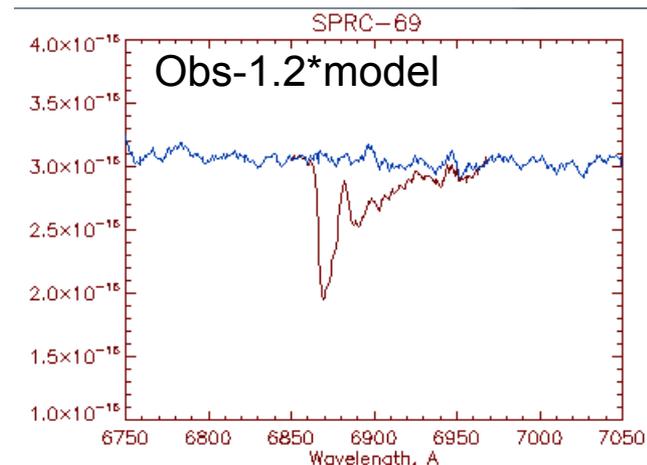
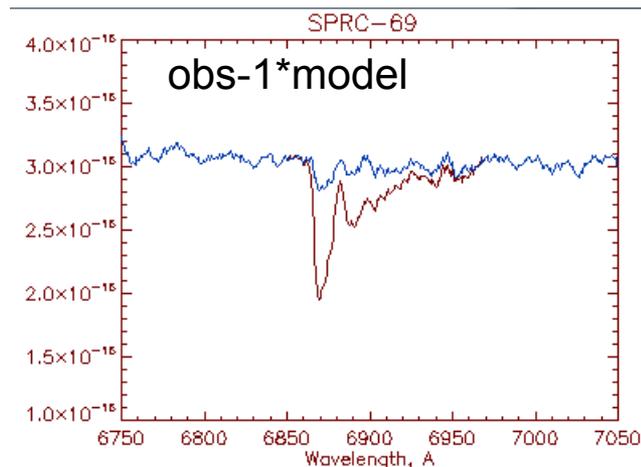
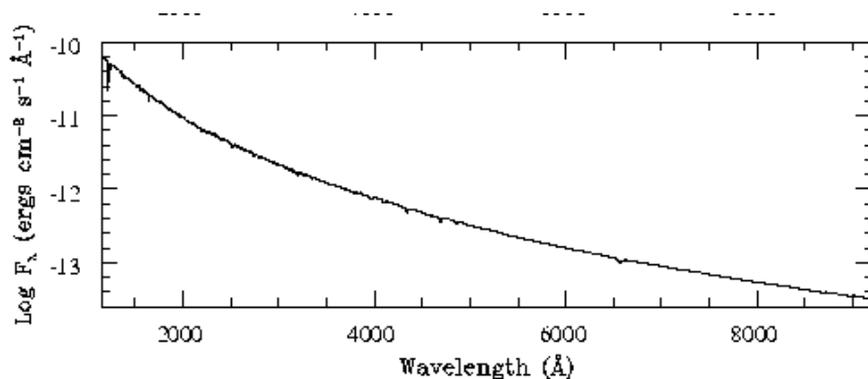
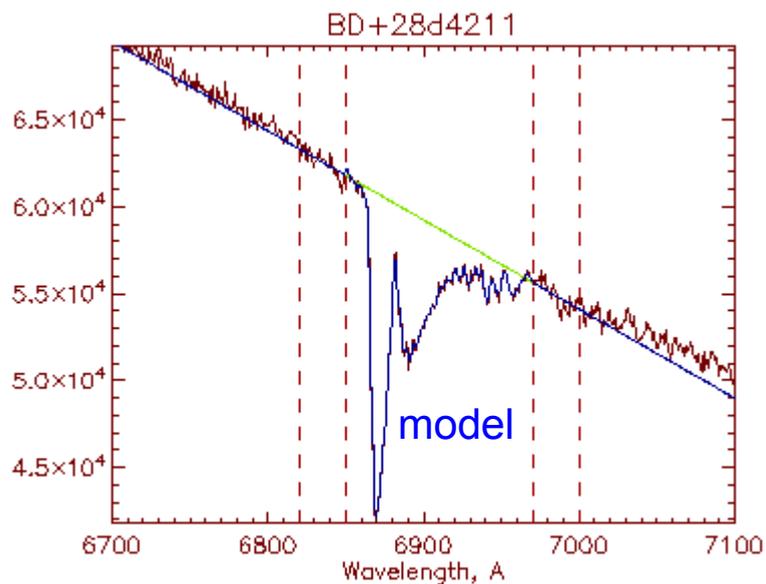
Атмосферные полосы поглощения.



Полосы поглощения нельзя убрать вычитанием неба - надо строить модель по звездам (желательно снятым на том же зенитном расстоянии) и делить на нее → Теллурические стандарты (особенно важны в ближнем ИК)

Атмосферные полосы поглощения.

На практике, часто достаточно использовать спектрофотометрический стандарт, если в нем нет линий в рассматриваемой области. Требуется лишь подобрать коэффициент для вычитания, учитывающий разницу воздушных масс



Вместо заключения

Поэтому важно, чтобы стандарт был снят с той же шириной щели, что и основной объект, а не только в бесщелевом режиме (SCORPIO) или с широкой щелью (SCORPIO-2).

НЕ НАДО ЭКОНОМИТЬ НА КАЛИБРОВКАХ!

В рассветное время надо стараться получить максимум возможных калибровочных данных: спектры рассветного неба, стандарт с различной шириной щели...

Даже если это формально не требуется заявителем сейчас, это может понадобиться при обработке архивных данных (восстановить форму LSF, вычесть атмосферные полосы, учесть потери света на щели и т.п.)