

Проблемы SCORPIO.

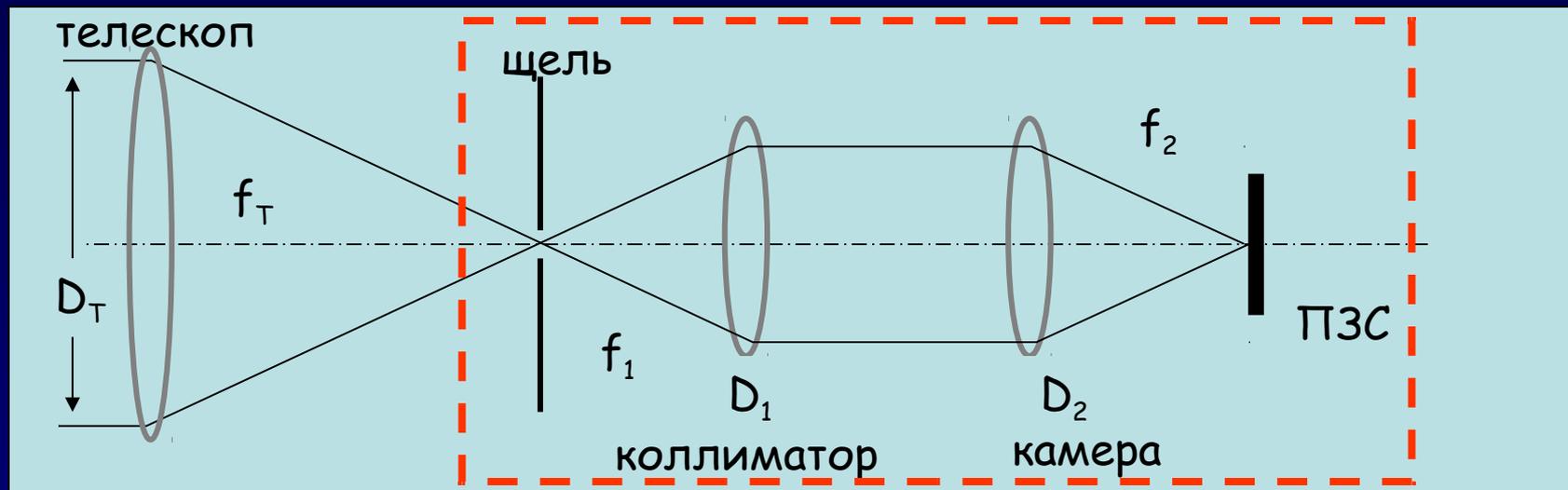
Лекция III.

Спектроскопия: печали и чуть  
больше радости.

Моисеев А.В.

*Специальная астрофизическая  
обсерватория РАН*

## Сегодня поговорим о проблемах ВНУТРИ спектрографа



- Параметры работы ПЗС - детектора
- Калибровочные накопления
- Методика наблюдений различных типов объектов

# ПЗС-приемники



ПЗС-системы разработаны и изготовлены в  
Лаборатория перспективных разработок САО РАН

	TK 1024 (2000-2003гг.)	EEV 42-40 (с 2003 г.)
Формат	1024x1024	2048x2048
Размер пикселя	24 мкм 0.32"	13.5 мкм 0.18"
Max. DQE	80%	80%
Gain	1.3 e/ADU	0.5 и 2.7 e/ADU
Шум считывания	3 e	1.8-4 e
Темновой ток	0.1 e/мин	0.03 e/мин

# Режимы считывания ПЗС (EЕV 42-40)

## Binning:

2x2 - для изображений (map)

1x2 - для спектров (obj, neon, flat):

избыточная дискретизация вдоль дисперсии

дискретизация вдоль щели -  $0.36''/\text{px}$  - достаточно даже для наблюдений с seeing =  $1''$

## Скорость считывания при спектральных наблюдениях:

	шум	Время считывания	Тип накоплений
SLOW	1.8 e	180 с	obj (для эстетов)
NORM	2.5 e	85 с	obj (обычно)
FAST	4 e	30 с	Neon, flat, sunsky, яркие звезды

## Gain (перевод фотоэлектронов в отсчеты ПЗС):

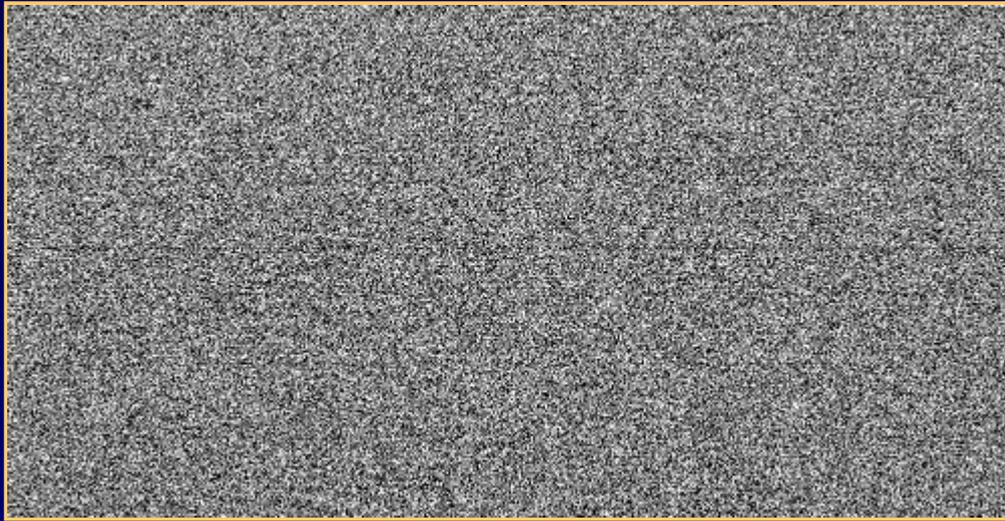
High =  $0.5 \text{ e/ADU}$  - большинство накоплений obj

Low =  $2.0 \text{ e/ADU}$  - Neon, flat, sunsky, яркие звезды

## Калибровочные накопления при спектральных наблюдениях со SCORPIO:

- **BIAS** – кадры «тока смещения»
- **DARK** – темновой ток (редко используется)
- **NEON** – калибровка шкалы длин волн
- **FLAT** – спектральное «плоское поле» (учет неоднородности чувствительности, дефектов и клиновидности щели, фринги)
- **СТАНДАРТЫ** – спектрофотометрические, шаблоны для кросс-корреляции, Солнечные аналоги и т.п.

## BIAS ("ток смещения", "электронный ноль")



Кадр с нулевой экспозицией -  
постоянная добавка во всех видах  
накоплений ПЗС

В нормальном режиме работы EEV 42-40 уровень bias составляет 98-100 counts. Если на кадрах заметна структуры амплитудой более  $1 e$  ( $=2ADU$ ,  $gain=high$ ) - значит что-то не так.

От ночи к ночи уровень bias меняется обычно в пределах  $\pm 0.5 e$

Уровень шума на кадрах bias равен шуму считывания

Обычно усредняют десятки кадров bias ( $=superbias$ ,  $meanbias$ )

# Усредненный BIAS

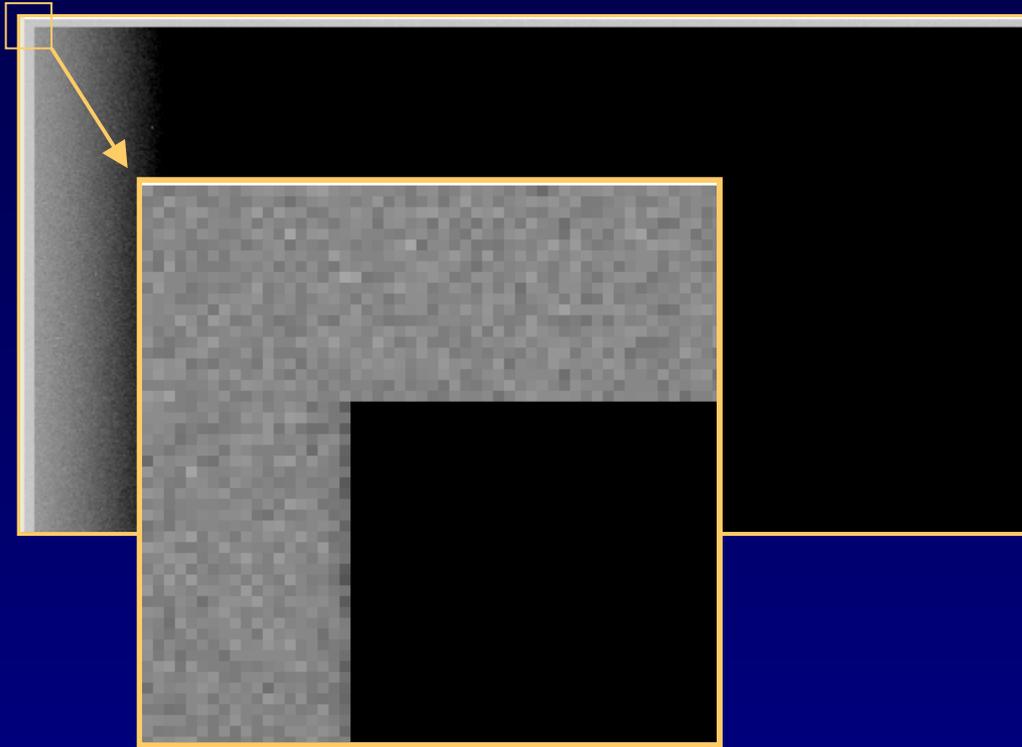
Зачем усредняем?

Чтобы не привносить в наблюдения дополнительный шум!

N	<bias>
1	2.5 e
10	0.79 e
20	0.56 e
30	0.46 e

Минимальный наблюдаемый шум от фона неба в безлунную ночь с решеткой VRHG2300 за 20 минут (вместе с шумом считывания): 3-4e

# OVERSCAN



Кадры с bin 1x2:

«реальные пиксели»: 2048x1024

размер файлов: 2068x1046

У нашей ПЗС

**OVERSCAN=BIAS**, но в случаях других приборов это надо обязательно проверять!

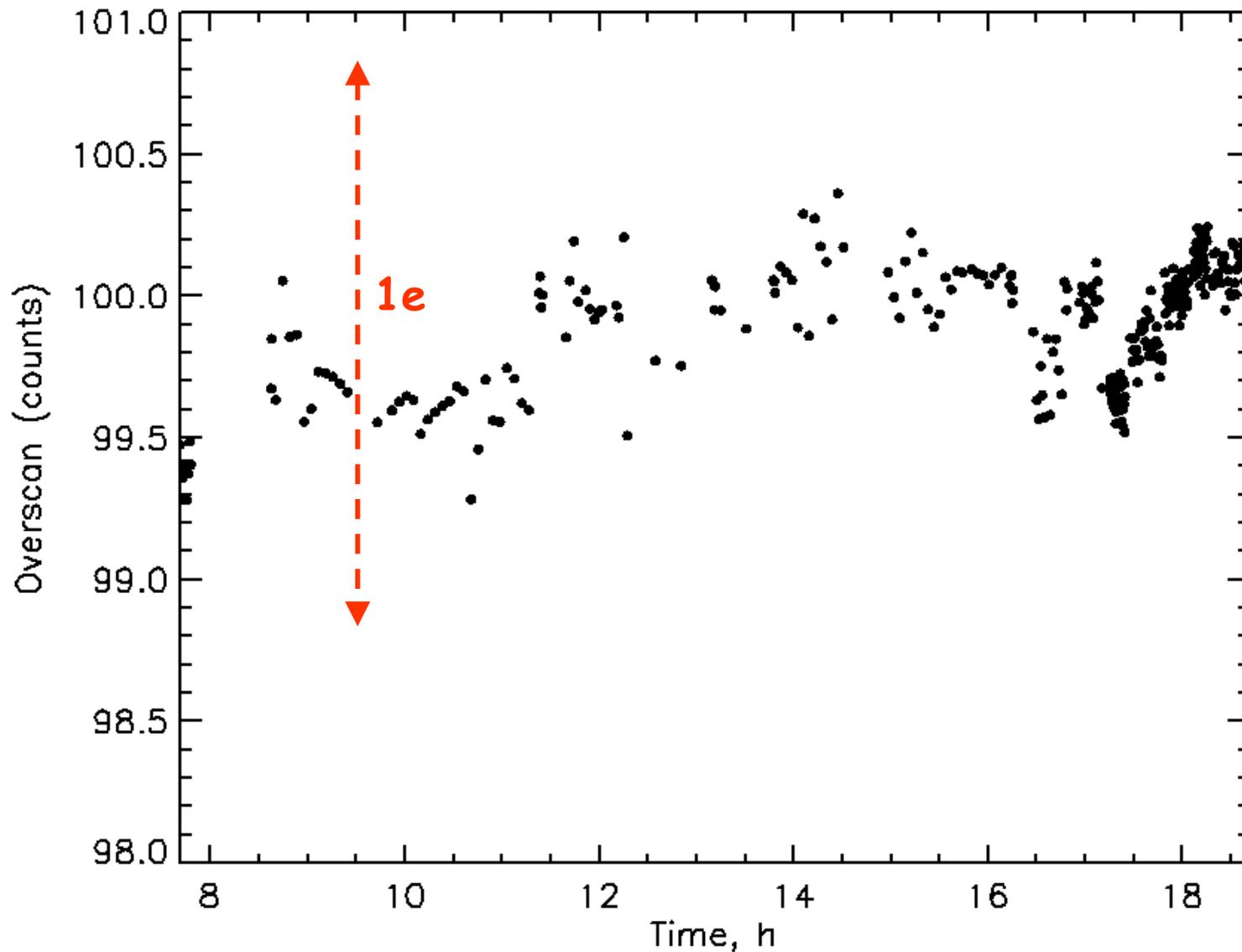
Поскольку обычно нет вариаций уровня bias по полю, то вместо superbias можно вычитать из кадров просто средний overscan.

Но вдруг сбой контролера ПЗС? Поэтому лучше вычитать и superbias и разницу overscan:

$$(\text{Signal} + \text{Over1}) - (\text{MeanBias} + \text{Over2}) = (\text{Signal} - \text{Meanbias}) + (\text{Over1} - \text{Over2})$$

# Вариации уровня BIAS в течении ночи

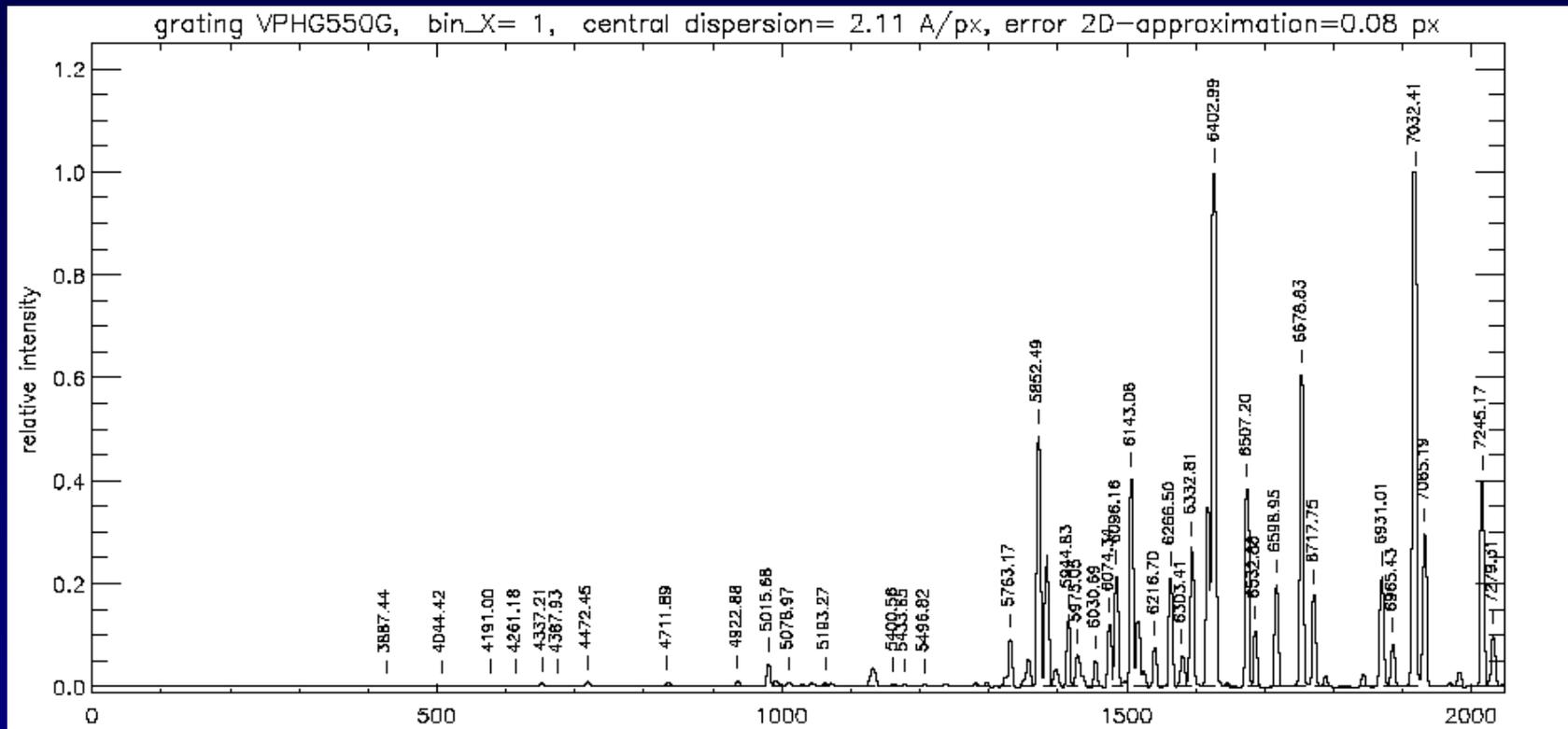
S070314



## Темновой ток DARK

За 20 минут у нашей ПЗС EEV 42-40 темновой ток около 0.6 e (1 ADU, gain=high), что в большинстве наблюдений несущественно, а количество «горячих пикселей» очень мало. Т.е. в большинстве наблюдений DARK не требуется. Но, если наблюдения велись с другой ПЗС (комплект с Zeiss-1000) - надо усреднять и вычитать из накоплений кадры DARK (с той же экспозицией).

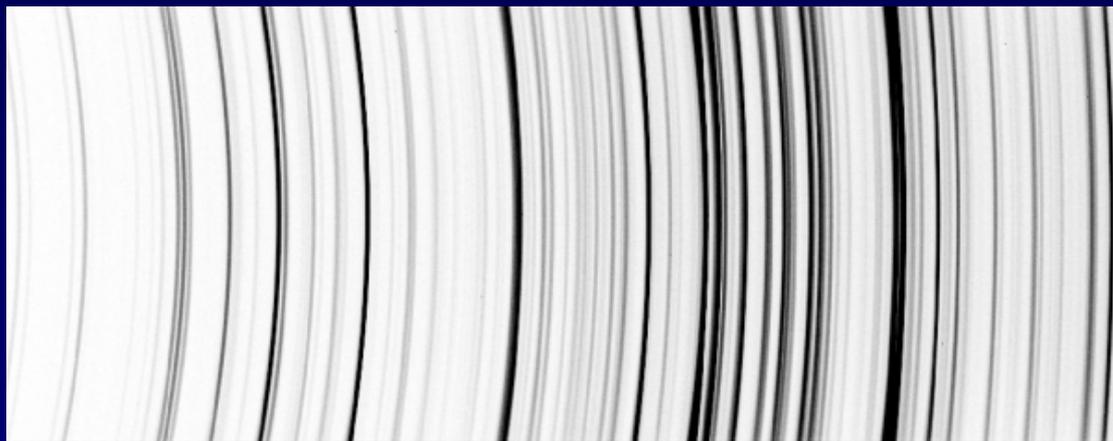
# Калибровка шкалы длин волн



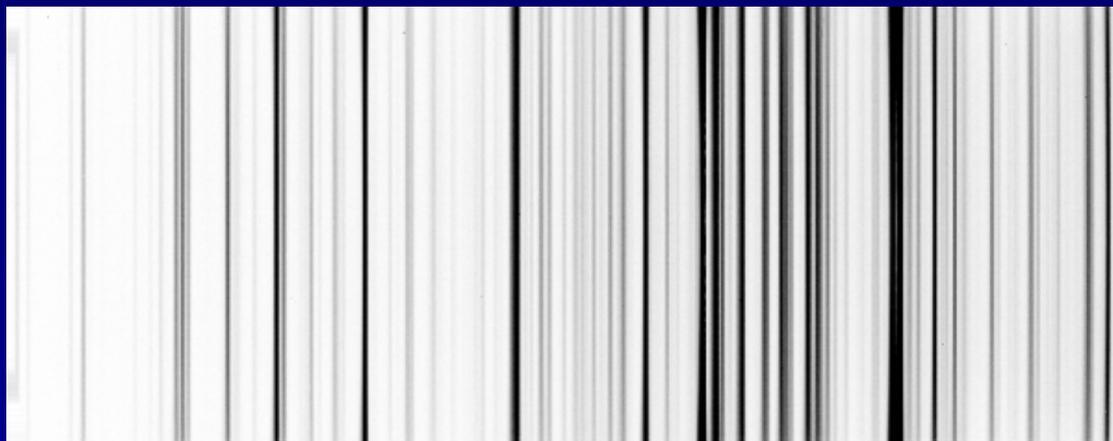
Основная проблема используемой лампы с He-Ne-Ar наполнением - слабые линии на длинах волн синее 5000 Å, поэтому здесь нельзя экономить не времена экспозиций (см рекомендованные Техр в «Руководстве пользователя»)

# Исправление геометрических искажений

Это не линии кривые, это теория дифракционной решетки такая!



Исправление геометрической дисторсии по спектру калибровочной лампы

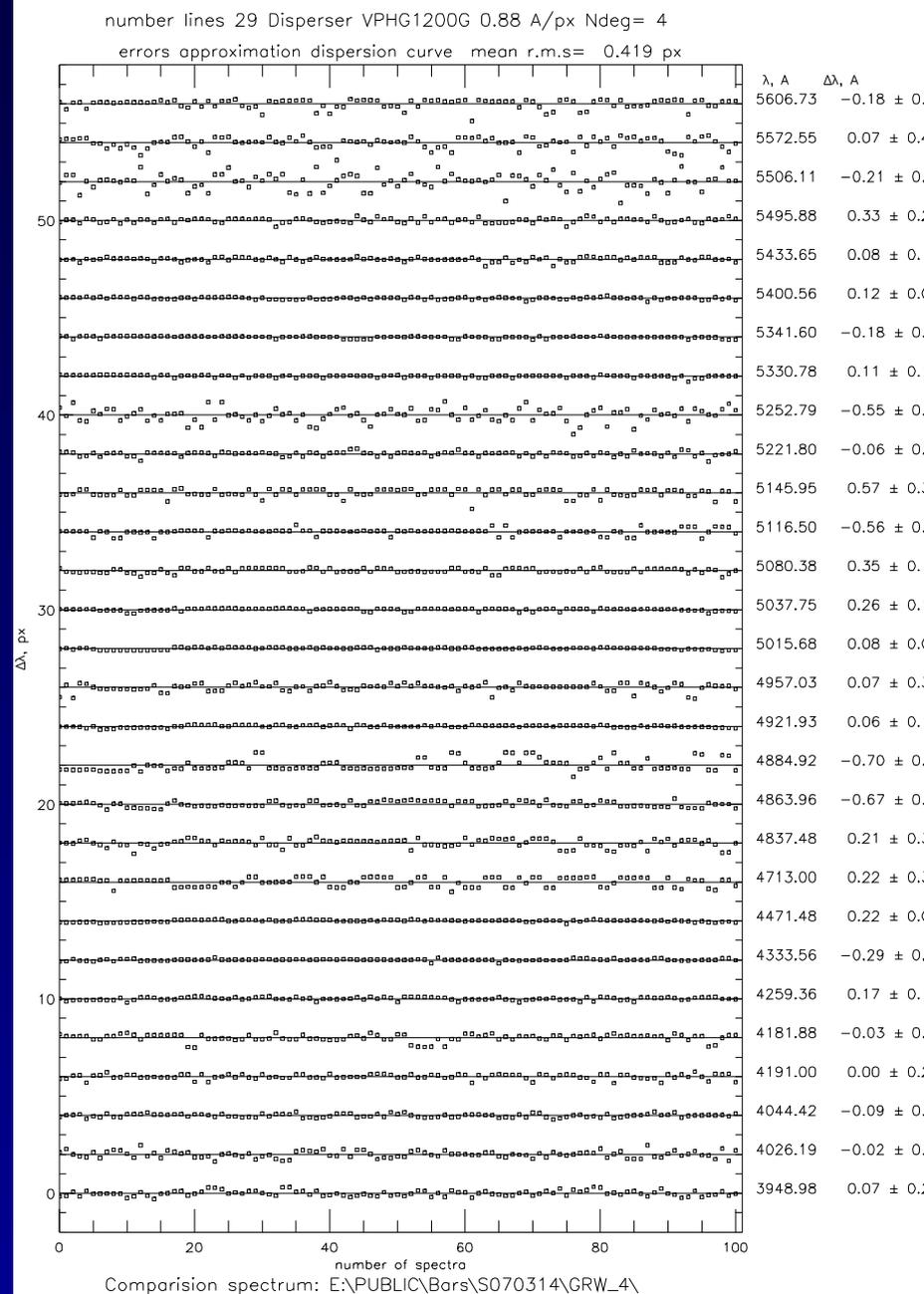


Для протяженных объектов - лучше исправлять сразу (до деления на FLAT и приведения к шкале длин волн). Но возможны и другие варианты, в зависимости от того, как строить последовательность обработки спектров.

# Дисперсионная зависимость

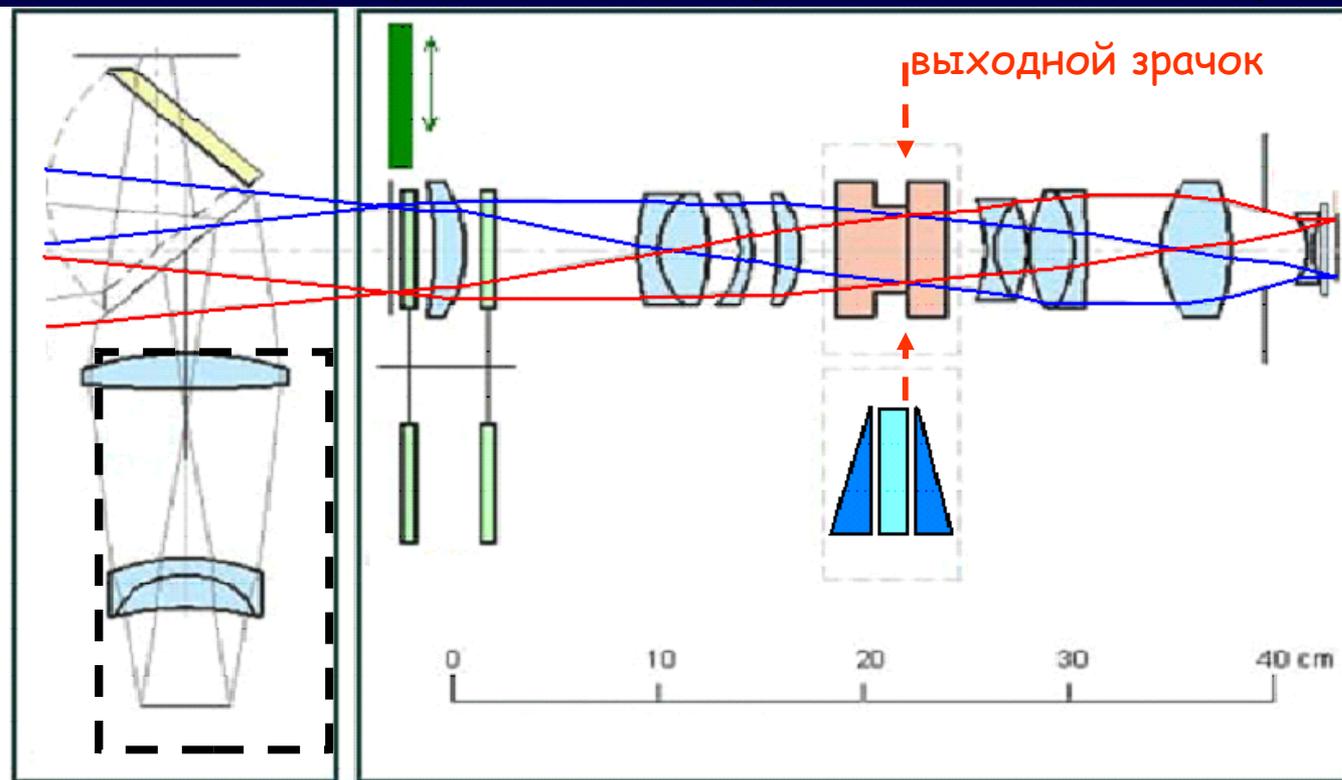
длина волны =  $F(x, y)$

Если процедура обработки проводится корректно, с целью минимизировать остаточные отклонения измеренных положений реперных линий, то в задаче спектроскопии со SCORPIO не важно, в какой системе и по каким алгоритмам выполняется анализ данных.



Контроль шкалы длин волн - по линиям спектра ночного неба

## Засветка тракта калибровки (телецентризм)

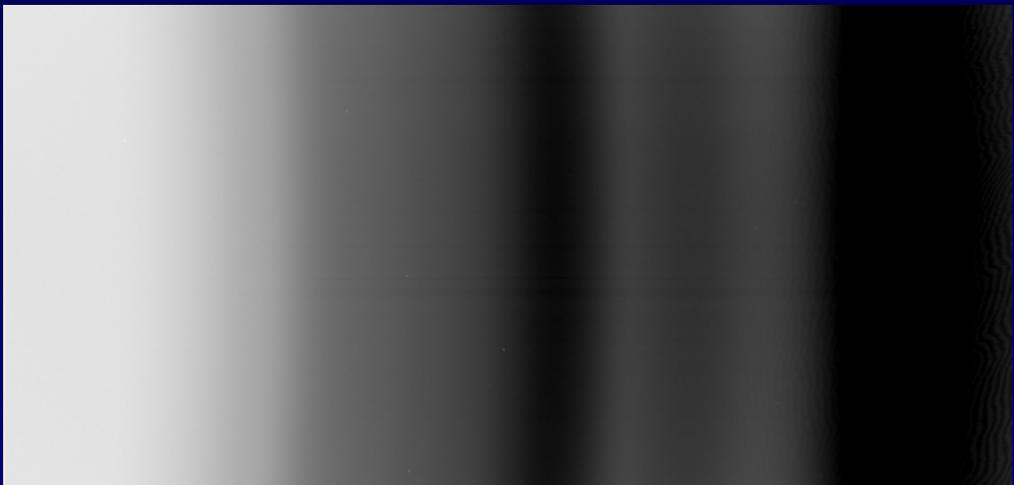
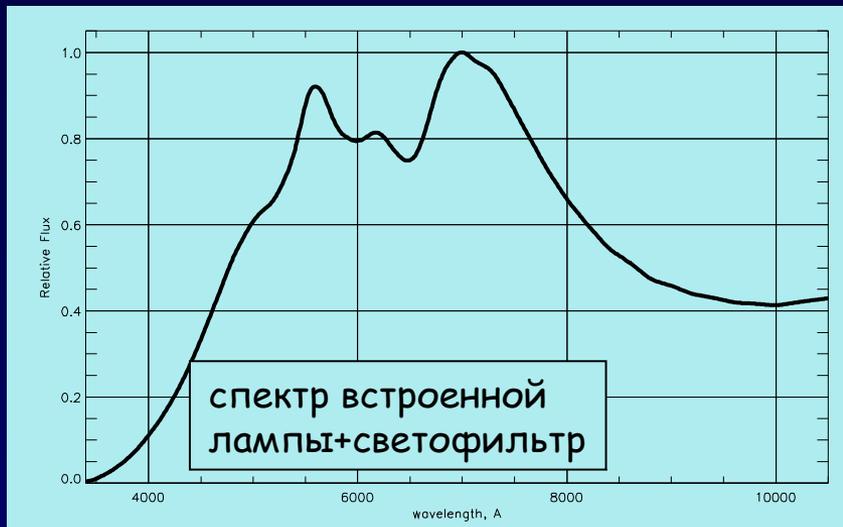


Важно, чтобы угол сходимости пучка лучей от калибровочного источника был близок к углу сходимости пучка лучей от телескопа ( $F/4$ ). Другими словами, положение выходного зрачка для объекта и калибровки должны совпадать.

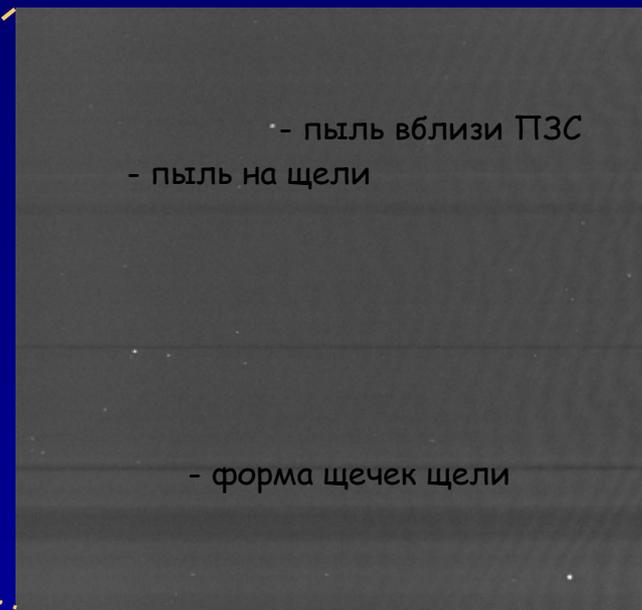
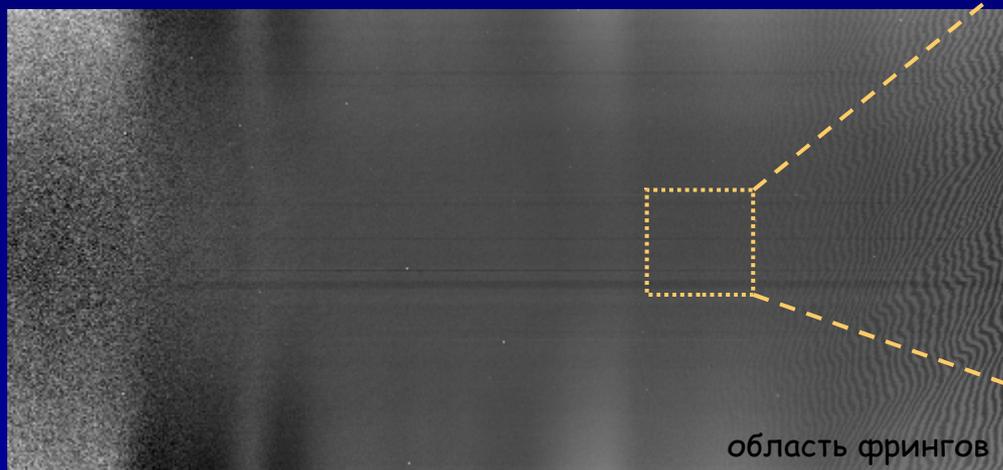
На SCORPIO такие усилия приложены (интегрирующая сфера + оптика переброса). Ошибка лучевых скоростей из-за нарушения телецентризма - не более 5-10 км/с (реально, пока не удалось обнаружить)

# «Плоское поле» FLAT

В отличие от фотометрического FLAT, здесь смешаны неоднородности чувствительности и форма спектра источника (лампы).

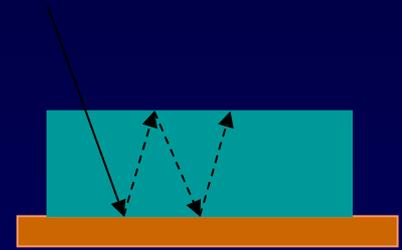


Нормировка на разрез вдоль дисперсии



# Проблема фрингов («муара»)

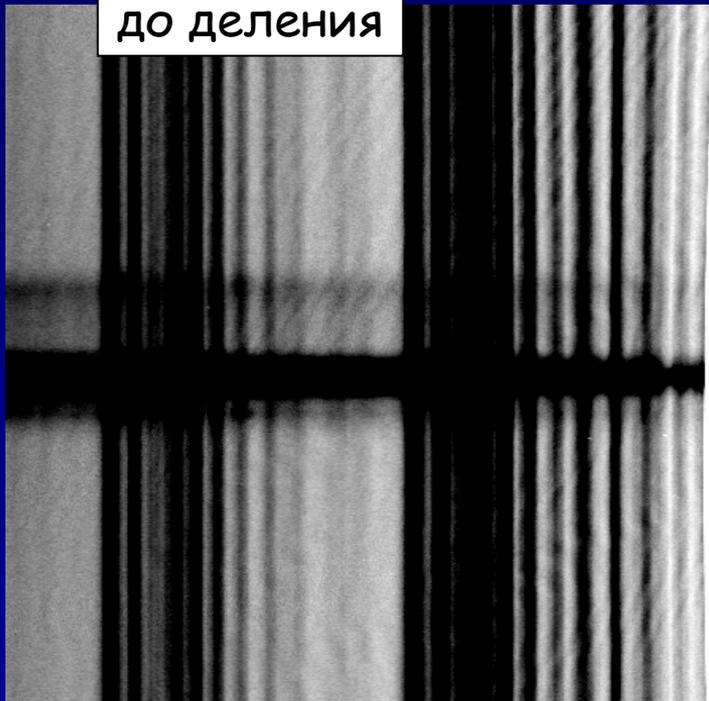
«Тонкие» ПЗС с обратной засветкой – высокая квантовая эффективность, но интерференция в слое кремния (fringes) в «красной области спектра»



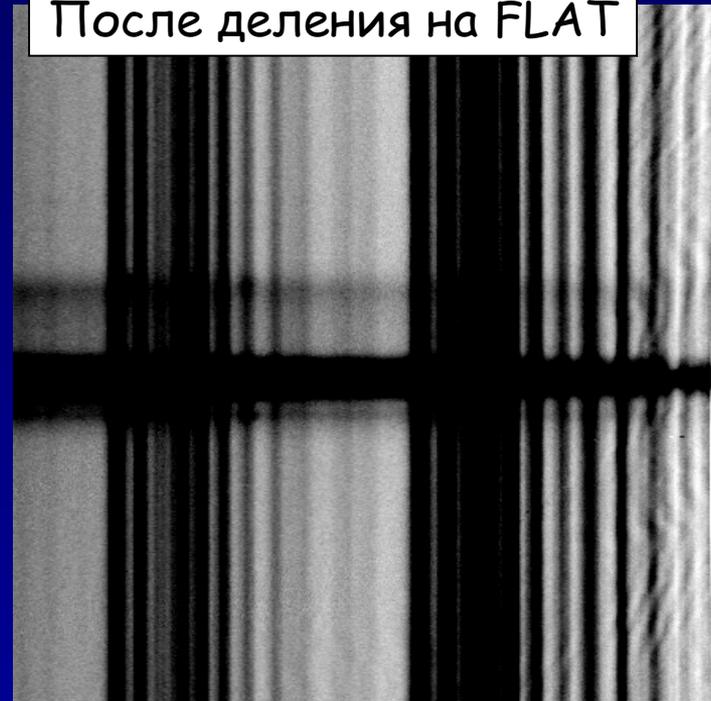
Вид интерференционного узора зависит от спектрального распределения энергии падающего света, т.е. разный для объекта, линий неба и FLAT

Чем выше спектральное разрешение, тем лучше «убираются» фринги – приближение монохроматического освещения в каждом пикселе

до деления

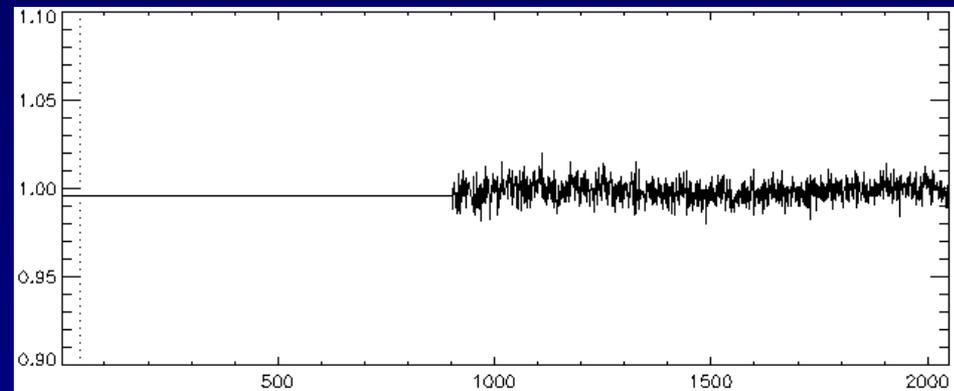
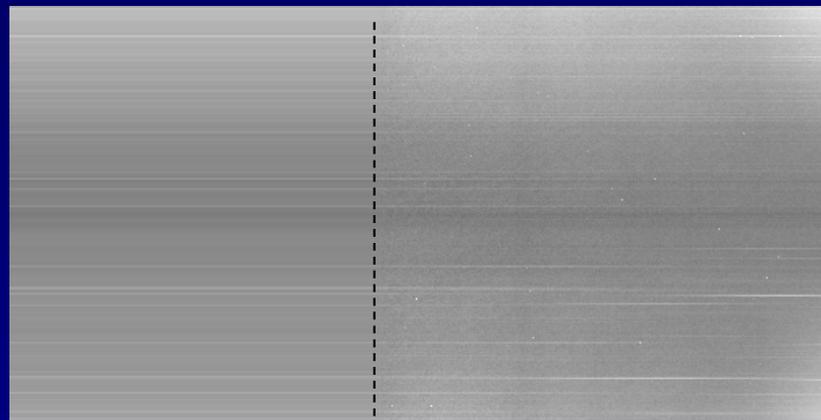
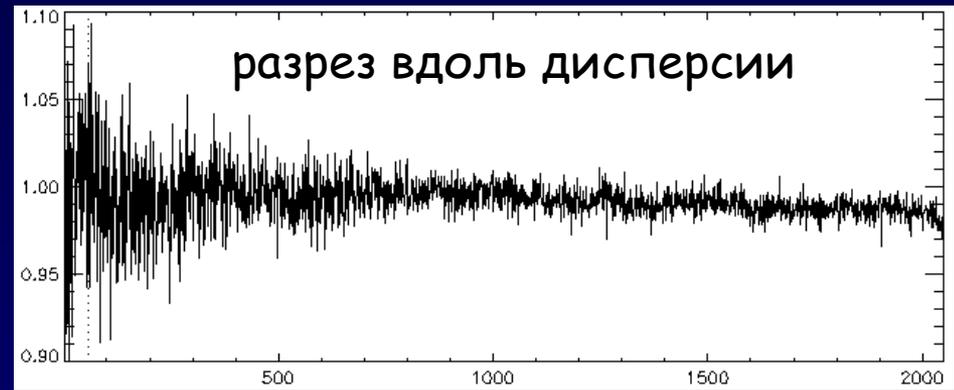
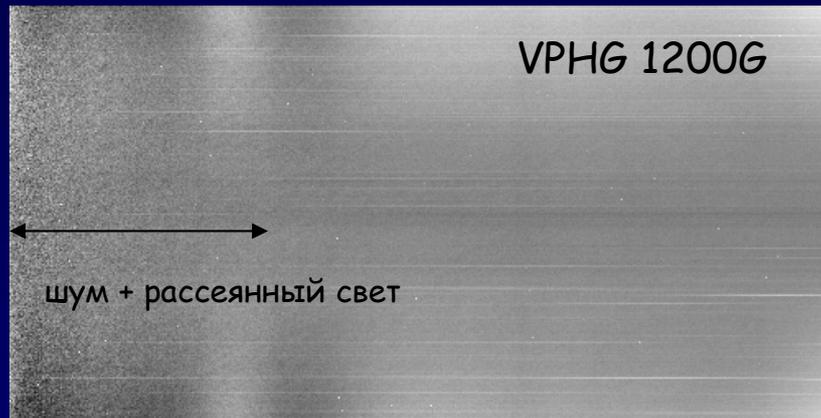


После деления на FLAT



VPHG550G

# Всегда ли надо делить на FLAT?



Усредняем (или экстраполируем) вдоль дисперсии в коротковолновой области (фрингов-то нет!):

- пренебрегаем вариациями попиксельной чувствительности
- корректно учитываем вариации пропускания вдоль щели

Можно использовать накопления рассветного неба (sunsky) – максимум яркости в синей области спектра, но тогда надо убирать абсорбционные детали

# Набор калибровок в течении ночи:

BIAS (1x2, 2x2,..)

Slitpos

MAP

NEON

OBJ

OBJ

NEON

FLAT

FLAT

BIAS (1x2, 2x2,..)

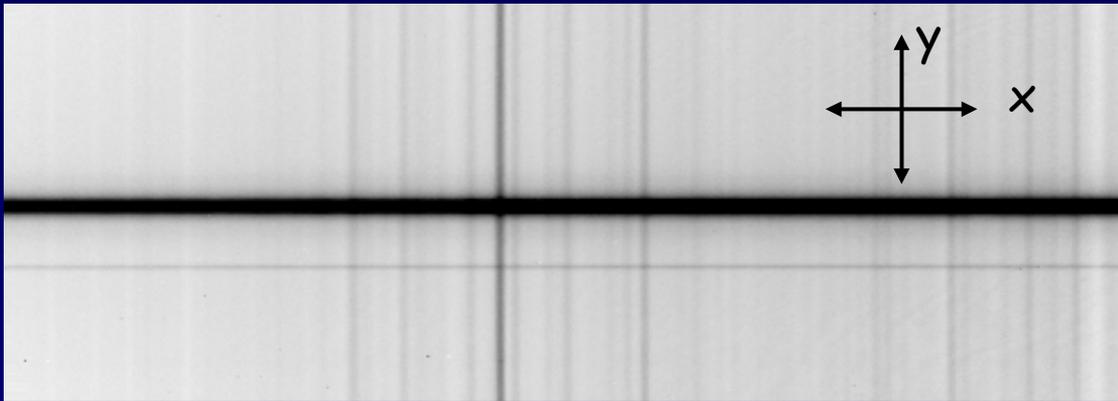
«Идеальный куб»  
(к этому надо стремиться)



Ввод/вывод призмы и вращение турелей - являются, по сути, сборкой-разборкой прибора. Калибровка (как минимум NEON) после перестановки механических элементов является обязательной!

# Гнутия

1. Изменения положения телескопа ( $z$ )
2. Изменения положения поворотного стола ( $P_{\text{real}}$ )



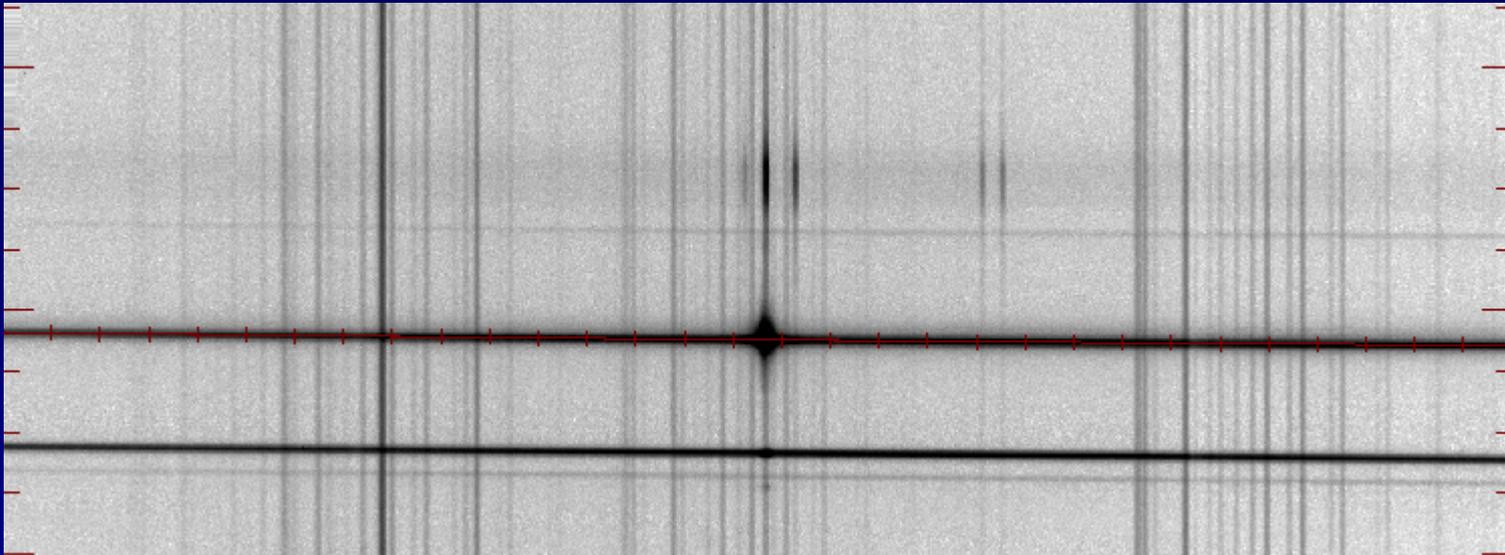
Измерение смещения между накоплениями - по кросс-корреляции спектров линиям ночного неба ( $x$ ) и спектра объекта ( $y$ )  
Независимый контроль смещений вдоль дисперсии - по спектру сравнения (требуется несколько разнесенных в  $j$  времени экспозиций!).

Оценка смещения спектров из-за гнутий (по 12 сериям многочасовых экспозиций) с EEV42-40:  
0-1.5  $\mu\text{m}$  (в среднем  $0.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$ ) на  $10^\circ$  изменения  $z$ .

## Точное направление дисперсии

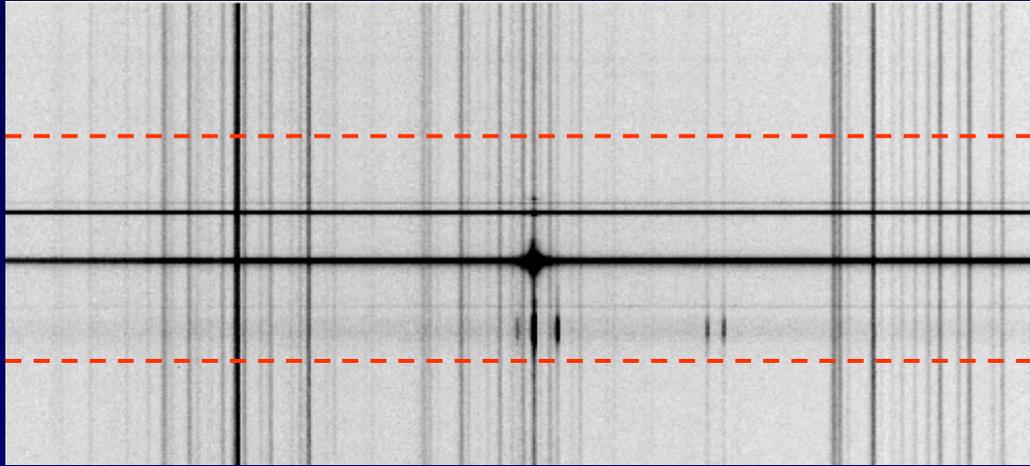
Стараемся изначально выставлять призму так, что бы перекося был не больше 1-2 px, но это не всегда удается!

Уточнение направления дисперсии по континуальному объекту:

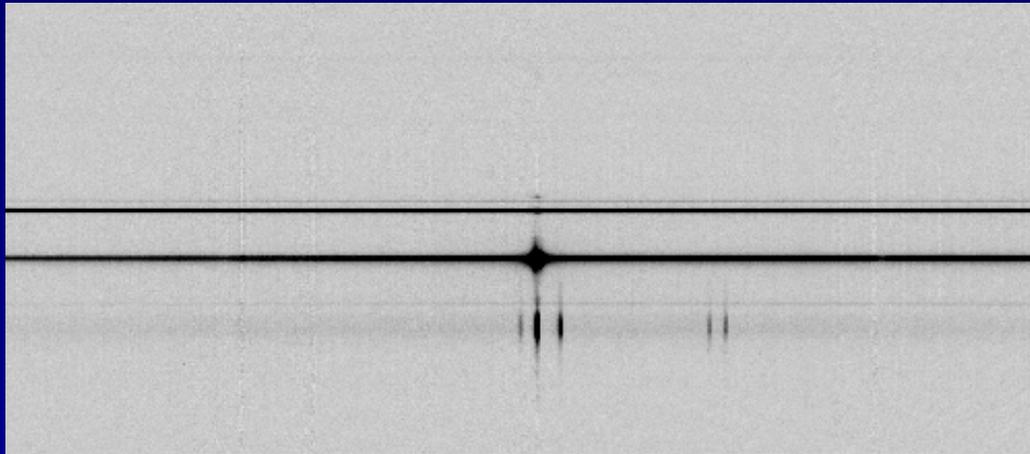


В случае объекта со слабым континуумом - направление дисперсии можно определять по спектрам других звезд (с точностью до сдвига вдоль щели)

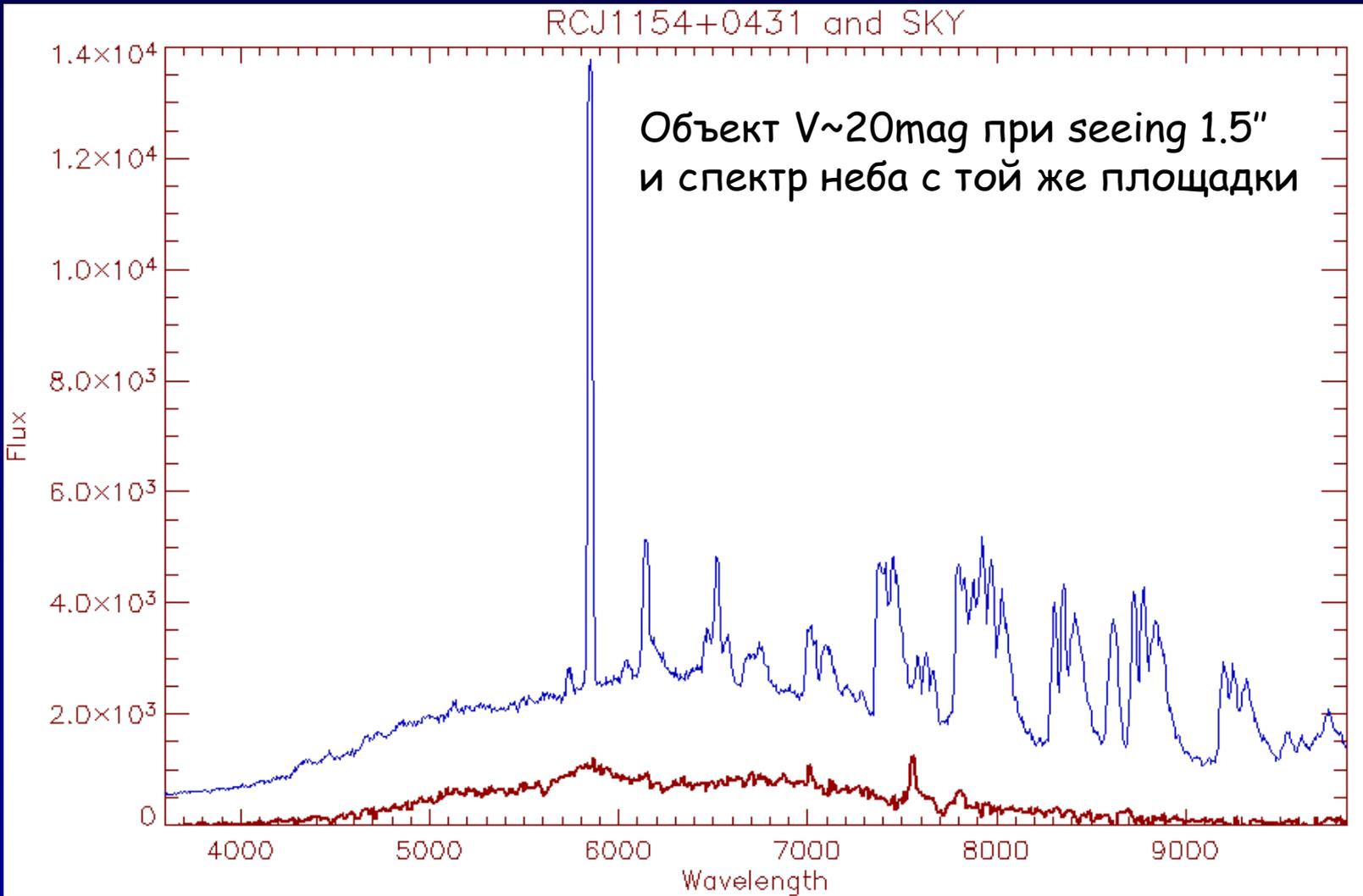
## Вычитание неба: протяженные объекты



Аппроксимация спектра неба  
полиномом (обычно 1-2 степени).

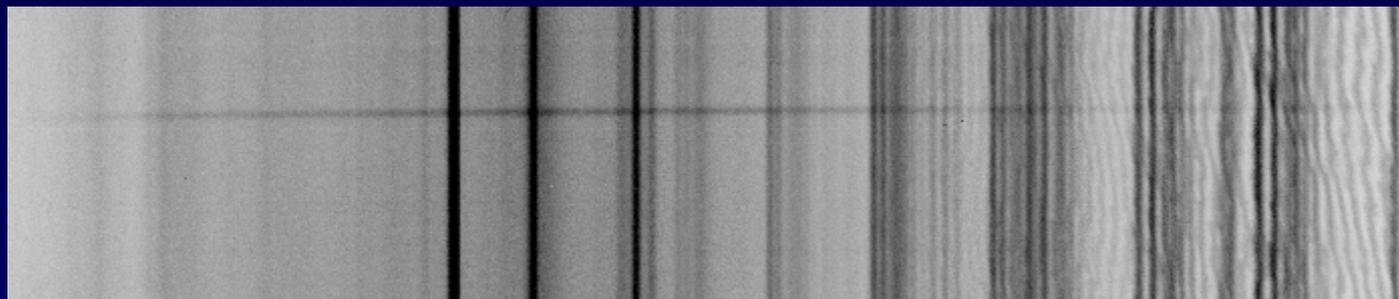


# Вычитание неба: звездообразные объекты

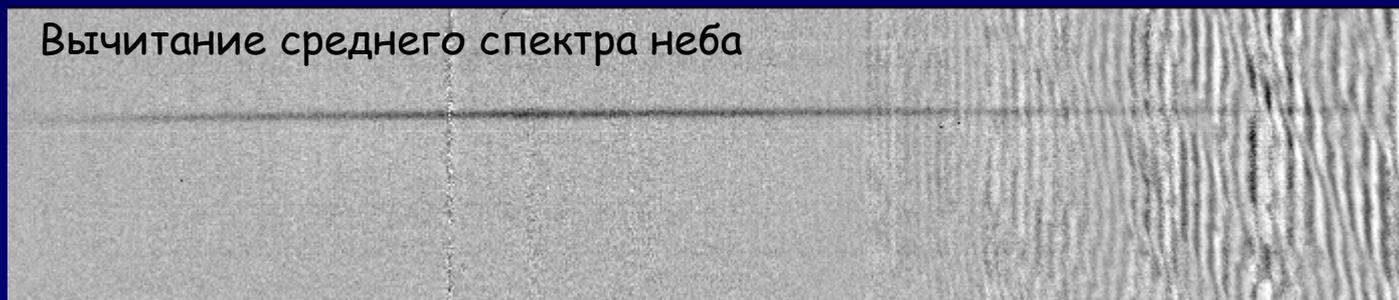


Для слабых объектов «морфологический шум» при вычитании фона неба оказывается более существенным, нежели формальный шум из статистики фотонов!

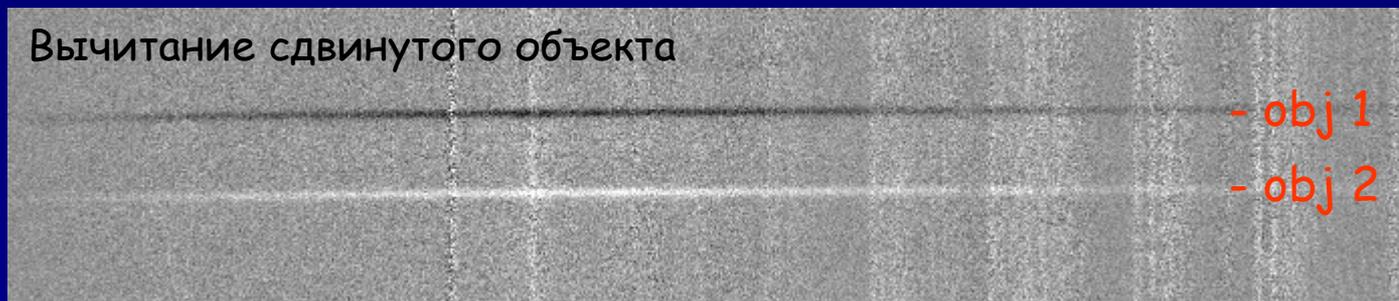
## Сдвиги вдоль щели.



Вычитание среднего спектра неба



Вычитание сдвинутого объекта



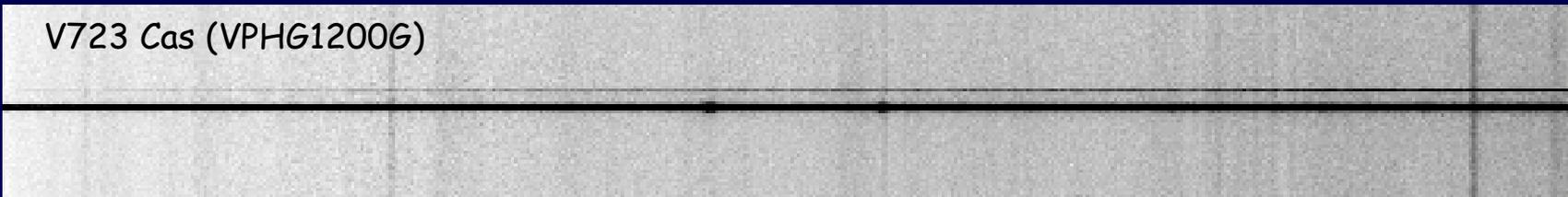
- obj 1

- obj 2

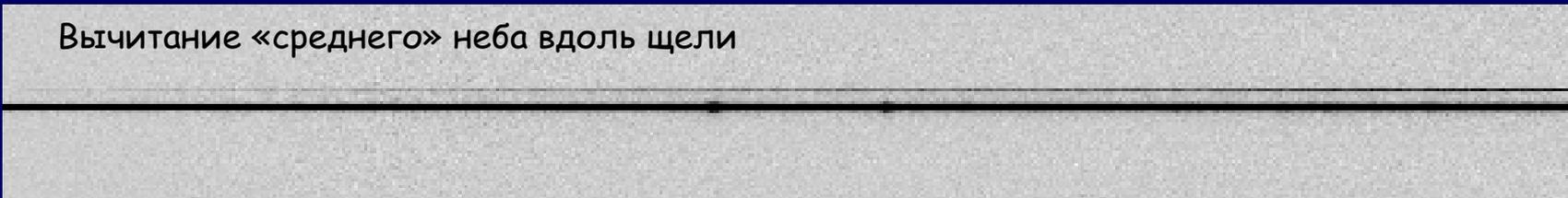
- Значительно лучше вычитаются фринги
- Но меняется относительная интенсивность линий неба - нужны короткие экспозиции (5-10 мин)
- Проблемы с протяженными объектами

## Сдвиги вдоль щели: всегда ли необходимы?

V723 Cas (VPHG1200G)



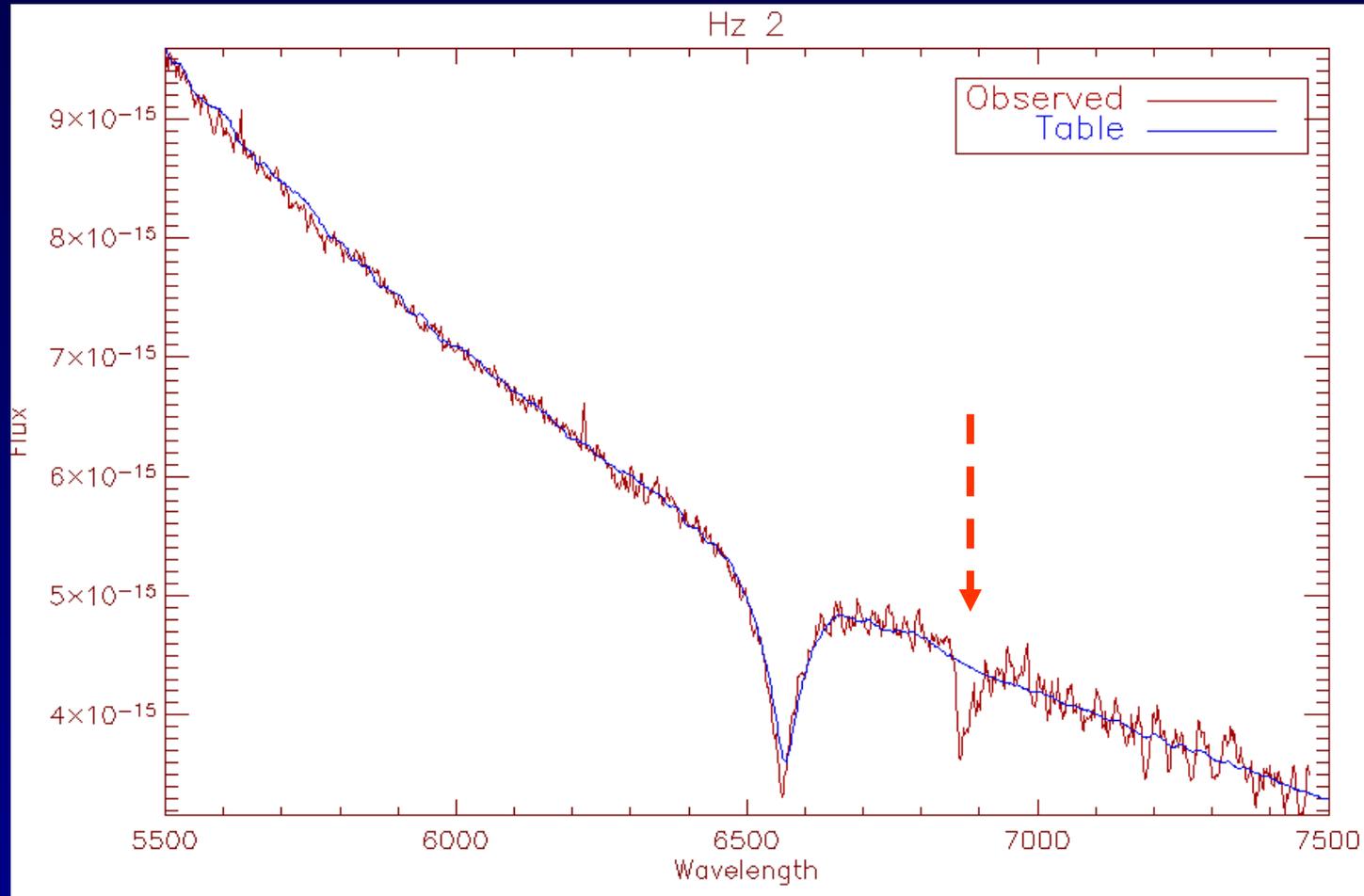
Вычитание «среднего» неба вдоль щели



Точность сдвигов вдоль щели ограничена точностью механических подвижек, возможны смещения объекта относительно центра щели (до 0.5"), что приводит к заметной потере света от объекта на «сдвинутой» экспозиции.

Не стоит увлекаться сдвигами при наблюдениях звездообразных объектов на длинах волн короче  $6500 \text{ \AA}$  (т.е. в области свободной от фрингов) .

# Проблема атмосферных полос поглощения.



Полосы поглощения нельзя убрать вычитанием неба - надо строить модель по звездам, снятым на том же зенитном расстоянии и делить на нее.

## Заключение

Качество спектрального наблюдательного материала во многом определяется выбранной методикой наблюдений (количество и тип калибровок, сдвиги и т.д.).

Далеко не все проблемы можно решить на этапе редукции данных.

**НЕ ЭКОНОМТЕ НА КАЛИБРОВКАХ!**