

Многорезжимный фокальный редуктор телескопа БТА

Лекция V.

Прямые снимки. “Плоское поле” в режиме изображений.
Фотометрия протяженных и звездообразных объектов.
Мультиобъектная спектроскопия.

Прямые снимки: все просто?

Кажется, что все просто: детектор+фильтр+оптика

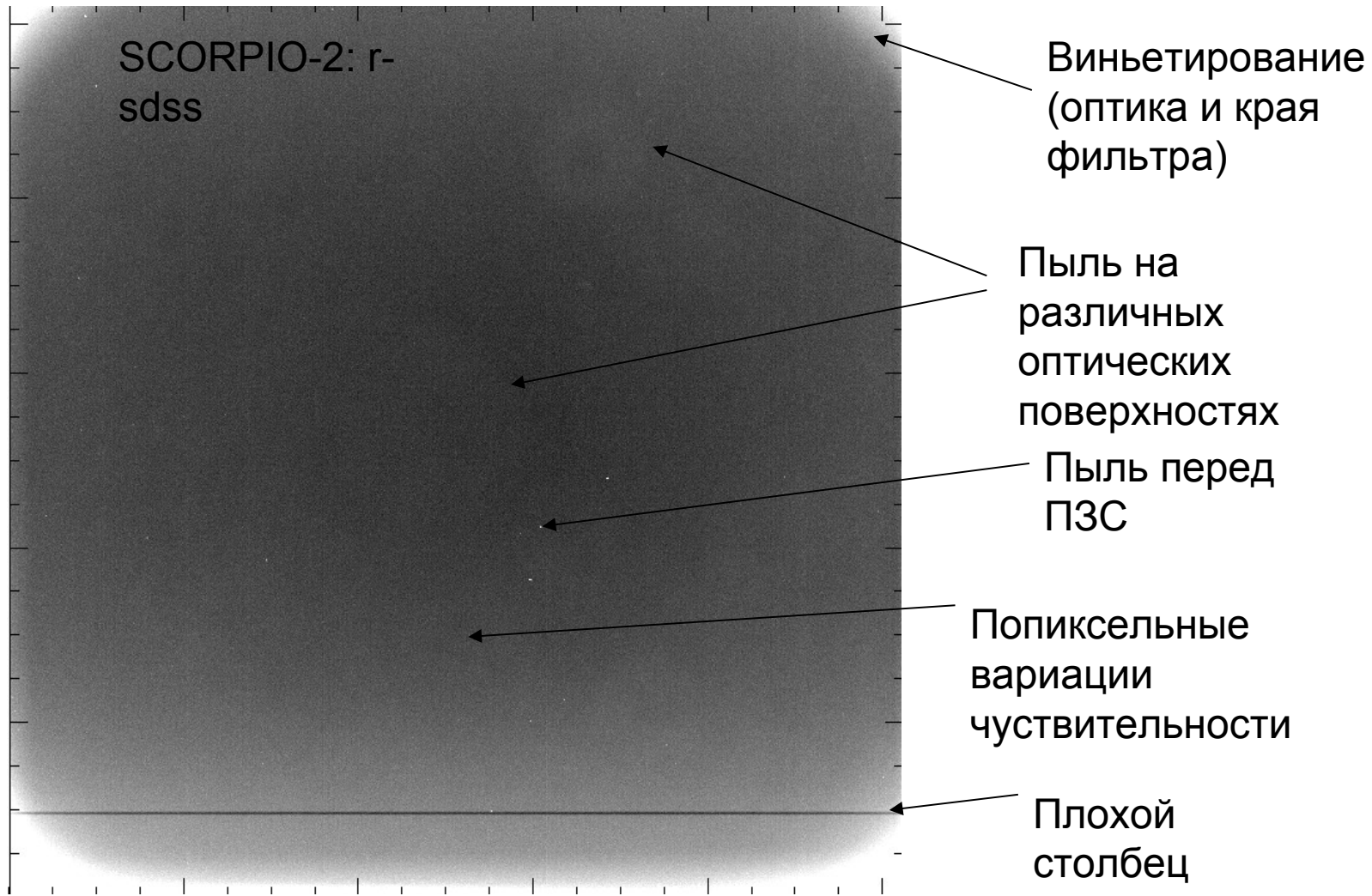
И всего одна формула обработки:

$$result = \frac{obj - bias - [dark]}{flat - bias}$$

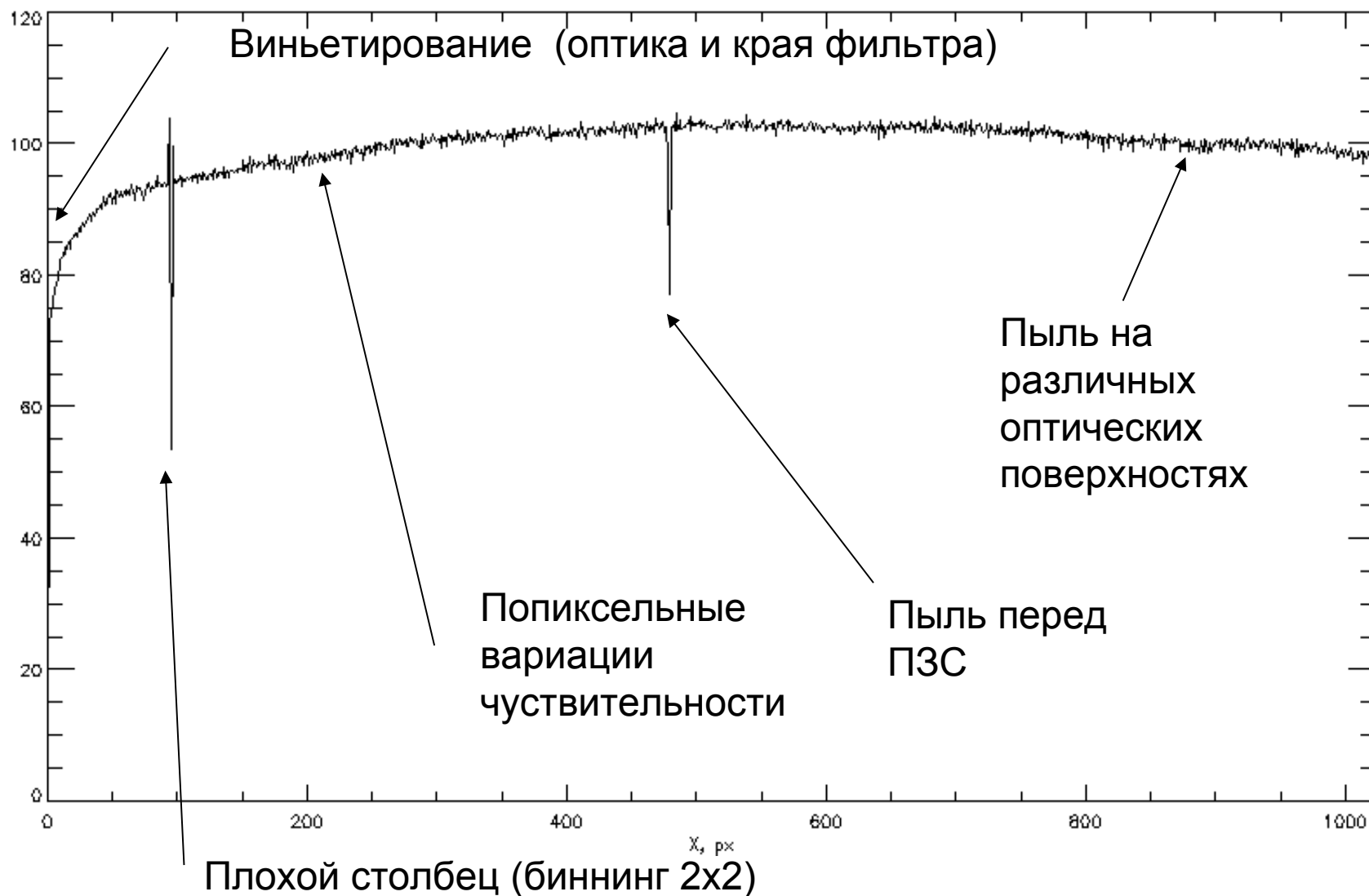
Но сигнал, как правило, значителен, формальная точность высока, а значит, будет заметно много мешающих факторов!



Прямые снимки: плоское поле



Хотя большинство вариаций - малококонтрастны



Как сделать равномерную засветку?

Чтобы иметь калибровку в любое время - экран под куполом?

НО чем сложнее оптическая система и шире полоса фильтра, тем больше будет отличий “плоского поля” от реальных вариаций чувствительности.

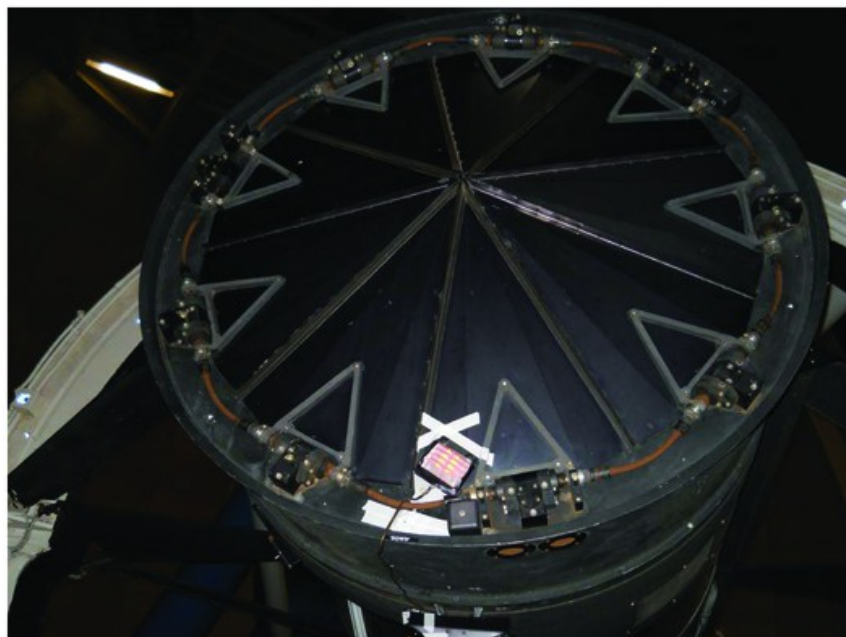
- калибровочной засветка должна идти тем же оптическим путем, что и свет от объекта (т.е. находится в бесконечности)

- тот же спектральный состав (особенно актуально для красной области – фринги)
Облачность на небе может создать проблему



Howell (2012): neon flat-field

Спектр лампы с близким
к небу спектральным составом



[Zoom In](#) [Zoom Out](#) [Reset image size](#)

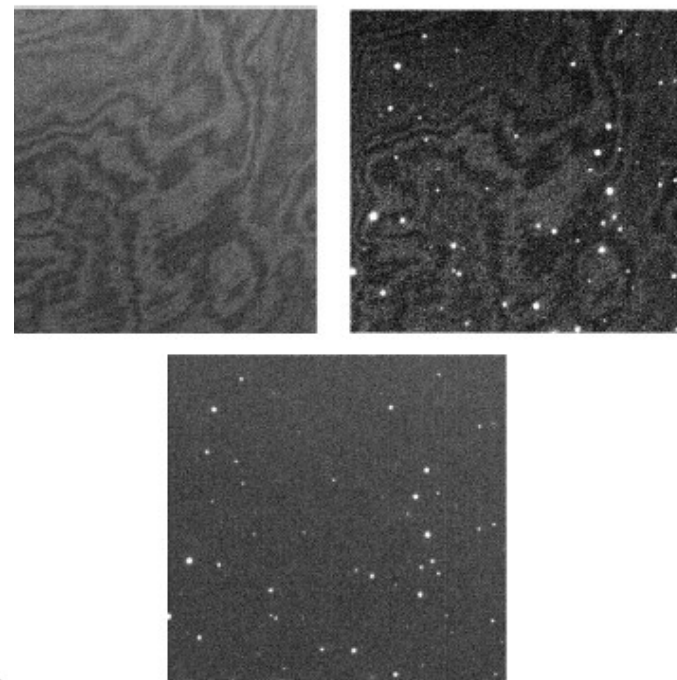
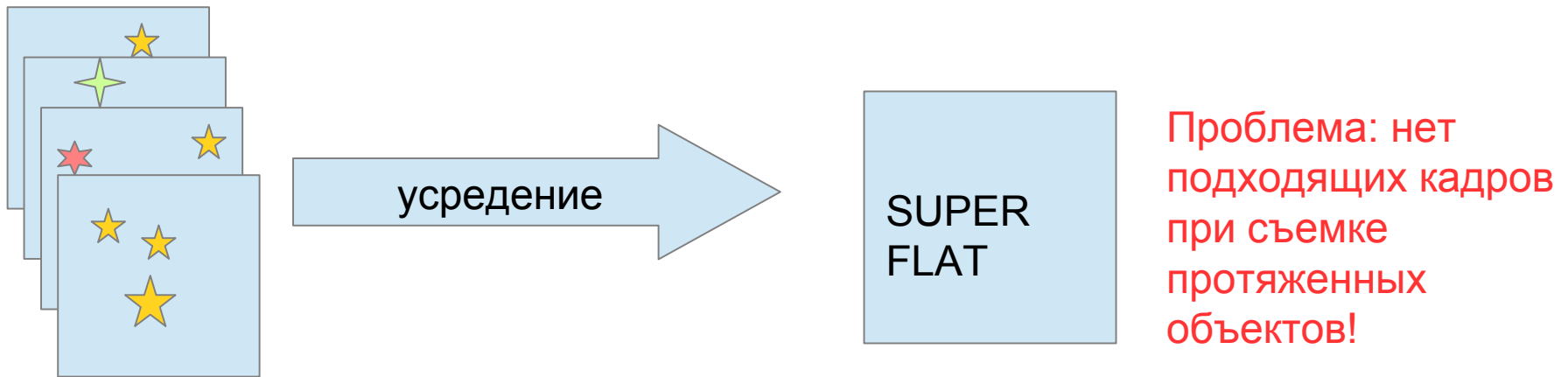


Fig. 2.— Photograph of the neon "flat-field" paddle lamp attached to the front end of the secondary tube on the Kitt Peak 4 m Mayall telescope. This temporary configuration was used to obtain dome flats with the neon light source illuminating the flat-field screen mounted on the inside of the 4 m dome.

Плоское поле в разных фильтрах

Обобщение опыта работы:

- в узкополосных фильтрах (20-30 Å) – годится даже встроенная лампа непрерывного спектра (так и работаем с ИФП)
- в среднеполосных (100-300Å) – рассветное небо
- в широких (~1000 Å) - идеально использовать SUPERFLAT

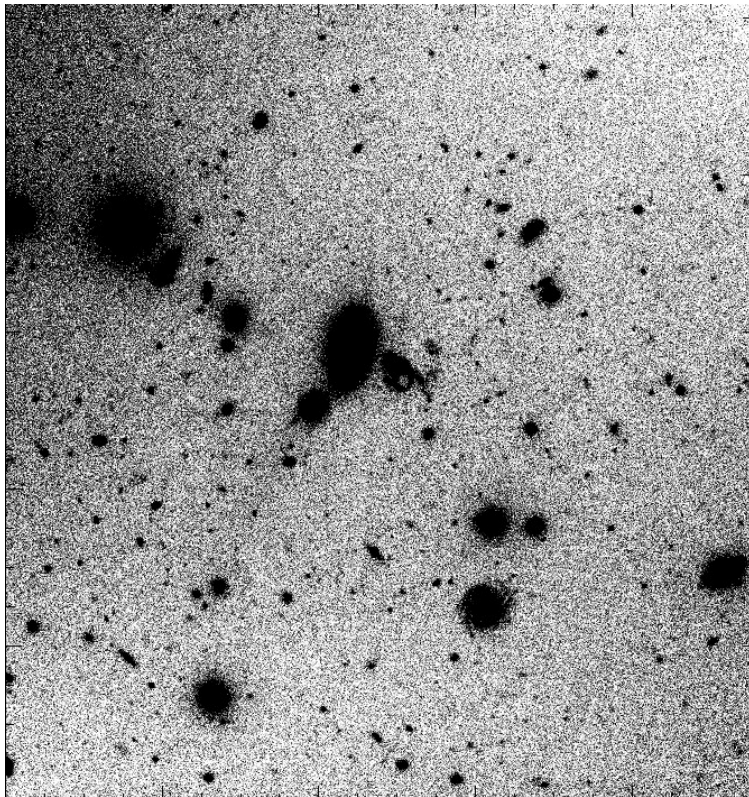


Наборы кадров объекта

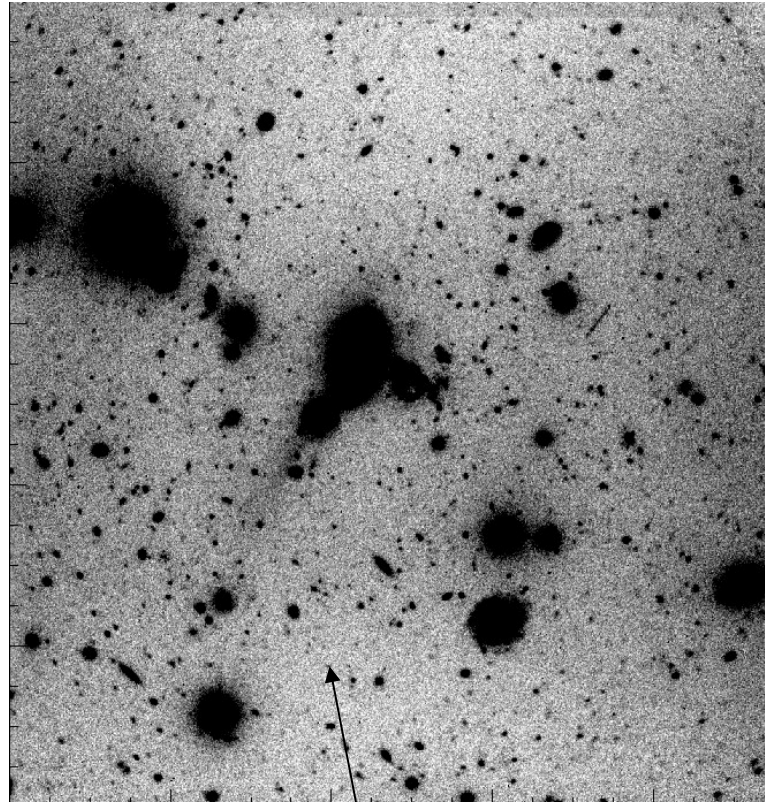
Рассветное небо – не идеально, но годится

Проблемы с плоским полем появляются на глубоких снимках

SCORPIO-2 V: 250 sec



7x250 sec



Вариации 0.5-1% от фона

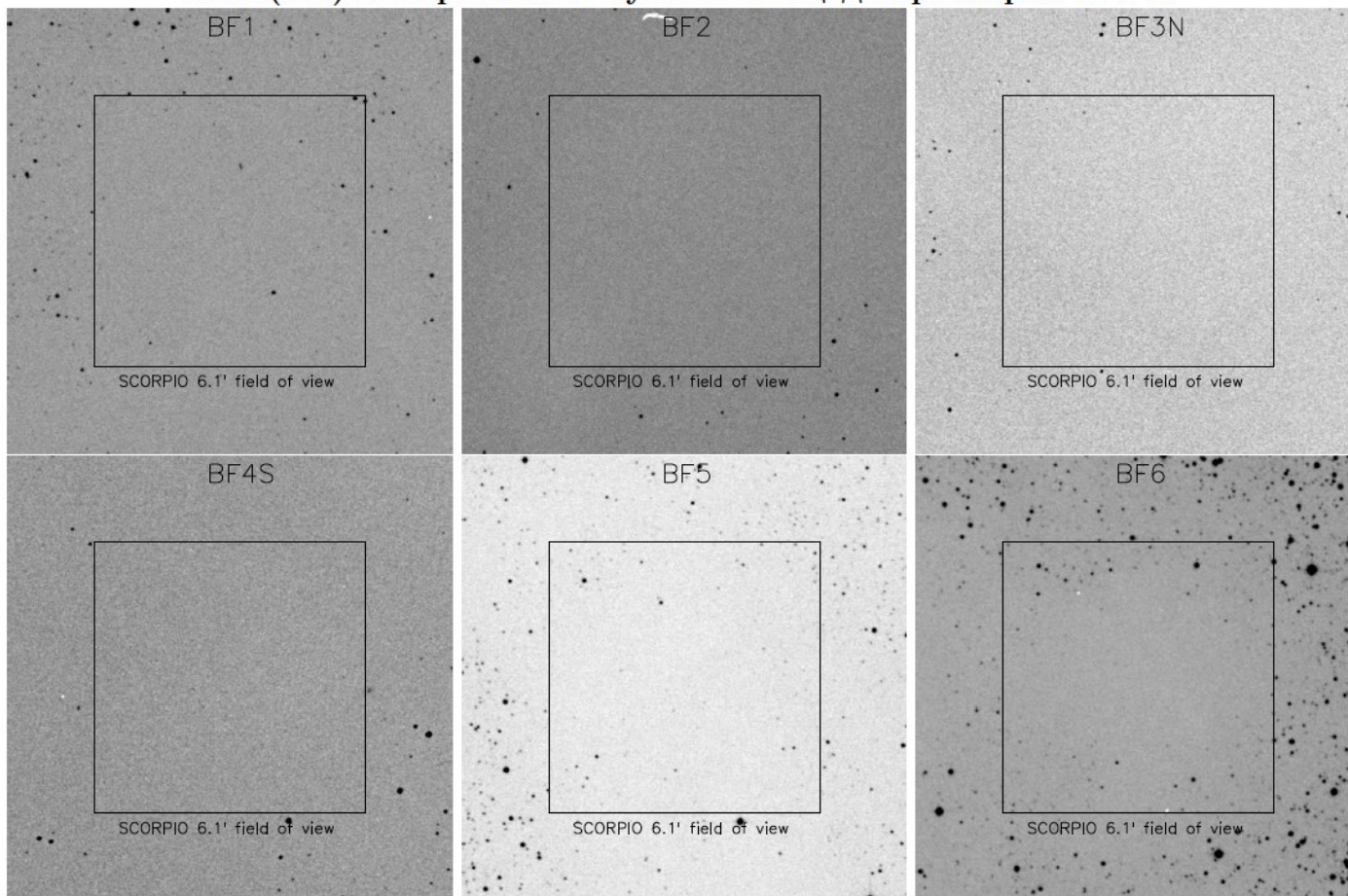
Рассветное небо: проблема "чистого поля"

SCORPIO/SCORPIO-2: поле 6x6 arcmin

Не так уж и много таких пустых площадок на небе

Выручают темные туманности в Млечном Пути

DSS2(red) Изображения "пустых" площадок размером $10 \times 10'$



Рассветное небо: последовательность наблюдений

Помним о том, что небо голубое, а у фильтров разная ширина.

Пример для вечера (небо тускнеет):

- 1) FN654 (самый узкий – 75 Å)
- 2) SED606 (170) Å
- 3) R (в синих фильтрах небо еще яркое, а в красном уже ОК)
- 4) V
- 5) B

А утром (небо ярчает) – обратная последовательность

Выбор оптимальной экспозиции по фону неба

На безлунном небе отчет в 100е достигается за 10 сек (V), 5 сек (R)

=> минимальные искажения статистики и максимальное S/N достигается

За ~100 сек (поток >1000 е)

Для увеличения предела обнаружения наиболее правильная стратегия — не увеличение длительности экспозиций а получение большого числа коротких экспозиций

После независимой обработки каждого изображения их можно сложить, и отношение сигнал/шум вырастет в $\sqrt{N_{\text{exp}}}$ раз. Необходимо, чтобы плоские поля каждой из экспозиций не совпадали — что соответствует получению кадров со смещением объекта, либо наблюдениям в различные ночи. В противном случае величина неоднородности перестает быть случайной величиной, и ее вклад не падает при сложении кадров. Следует заметить, что такой

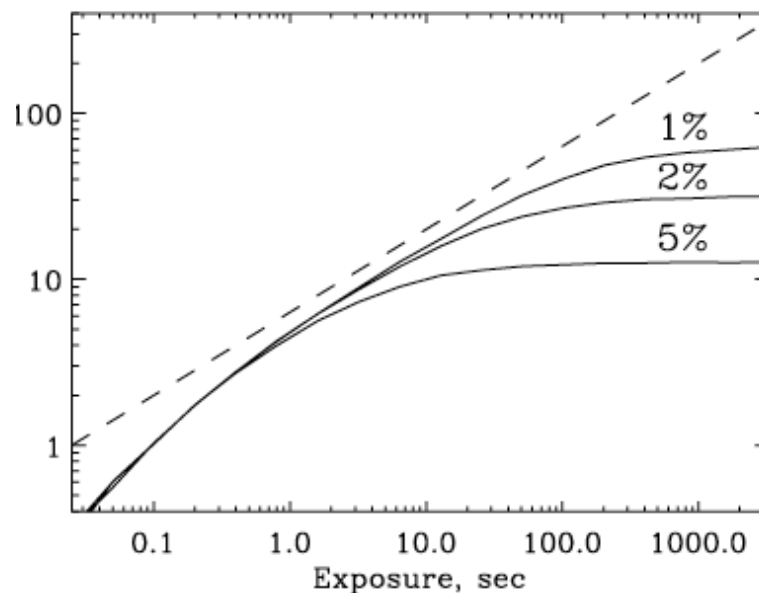


Рис. 4. Отношение сигнал/шум в объекте в зависимости от экспозиции для различных значений ошибок определения плоского поля — 1%, 2% и 5%. Штрихо-

ЛЕКЦИЯ 4 !!!

Срабатывание затвора на ярких объектах

Ирисовый затвор, время срабатывания – 0.1 с

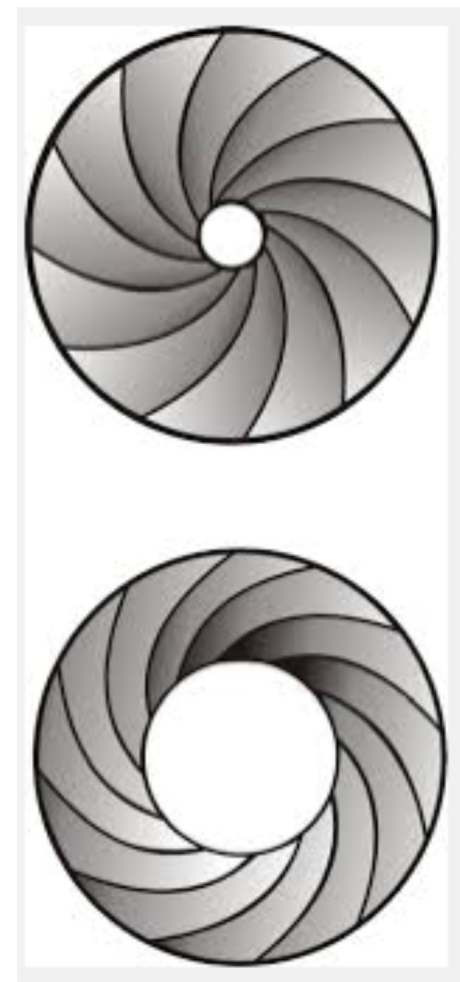
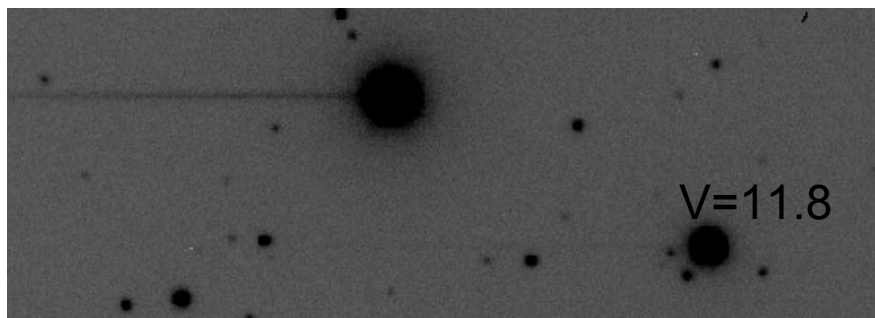
SCORPIO: затвор вблизи фокальной плоскости

-> центр экспонируется на 0.2 с дольше, чем края
перекос “плоского поля”:

Техр= 1 с -> 20%

Техр= 10 с -> 2%

SCORPIO-2: затвор в параллельном пучке, но
считывание начинается одновременно с его
закрытием, яркие звезды успевают прочертить след

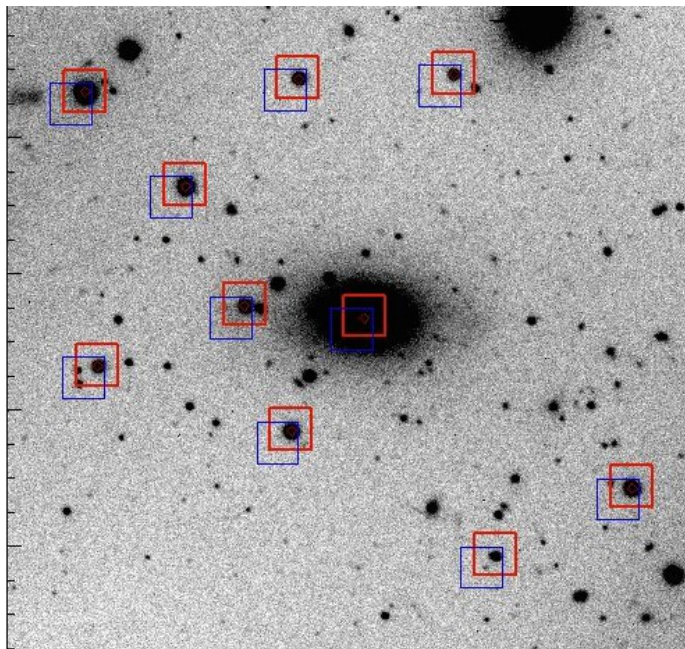


НЕ ДЕЛАЕМ ЭКСПОЗИЦИЙ КОРОЧЕ 10 сек!
(в ~100 раз превышаем время закрытия)

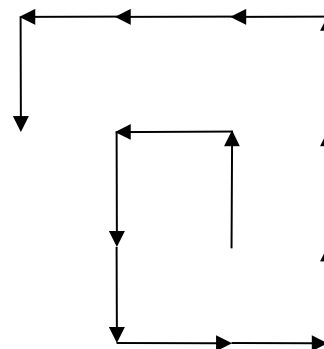
Сдвиги между экспозициями объекта (и плоского поля)

Все равно надо снимать несколько экспозиций для чистки следов космических частиц

-> Сдвиг на 20-40 px (7-15") для коррекции мелкомасштабных вариация "плоского поля". Так же это необходимо, если планируем строить SUPERFLAT по звездным полям



Сдвиги "улиткой"



Легко реализовать автоматический алгоритм для измерения реального сдвига кадров в процессе обработки по изображениям звезд, используя данные о координатах телескоп из FITS шапки, либо алгоритмы отождествления конфигураций

Рассветное небо: последовательность наблюдений

Помним о том, что небо голубое, а у фильтров разная ширина.

Пример для вечера (небо тускнеет):

- 1) FN654 (самый узкий – 75 Å)
- 2) SED606 (170 Å)
- 3) R (в синих фильтрах небо еще яркое, а в красном уже ОК)
- 4) V
- 5) B

А утром (небо ярчает) – обратная последовательность

Проблема качества изображений

Вспоминаем лекцию 1:

Для слабого звездообразного объекта фактор диаметра телескопа эквивалентен изменению качества изображений (β):

$$(S/N) = \frac{N_*}{\sqrt{N_s}} = \frac{D^2 n_* t}{D \beta \sqrt{st}} = \frac{D}{\beta} n_* \sqrt{\frac{t}{s}}$$

Кроме атмосферного размытия (seeing) есть еще и вариации аппаратного контура по полю (PSF=point spread function)

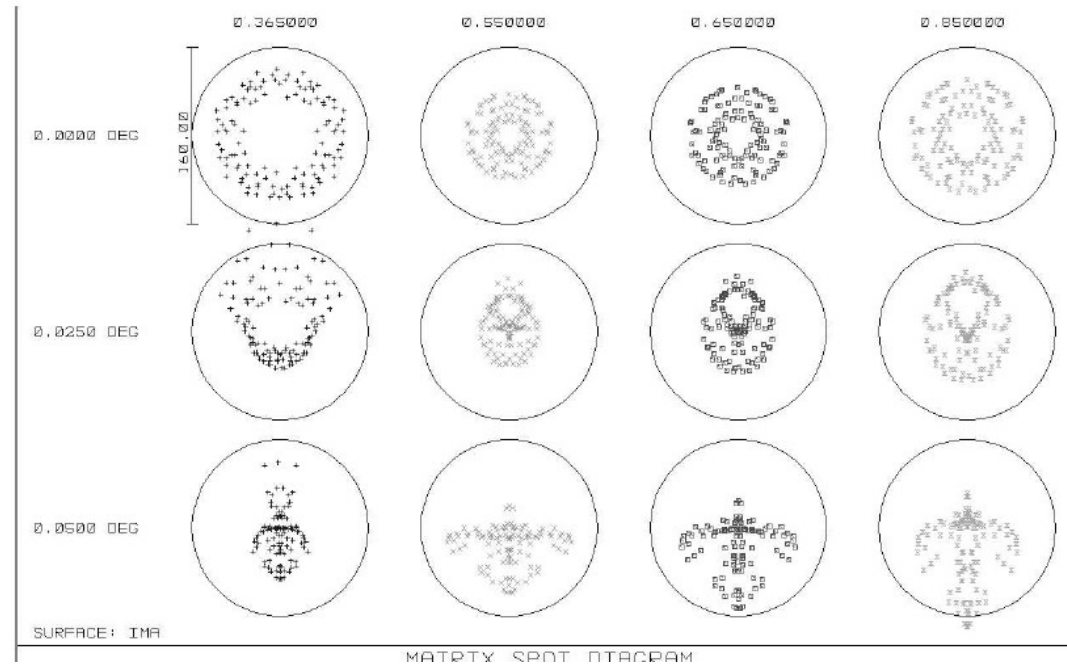
PSF SCORPIO-1: история вопроса

Изначально (2000)



Но этот вариант не давал работать с длинной щелью и многощелевой маской

Оптимизация под seeing > 1.5"



Остаточный астигматизм: при seeing=1-1.5" рабочее поле уменьшается до 4 arcmin

SCORPIO-2 – проблема исправлена

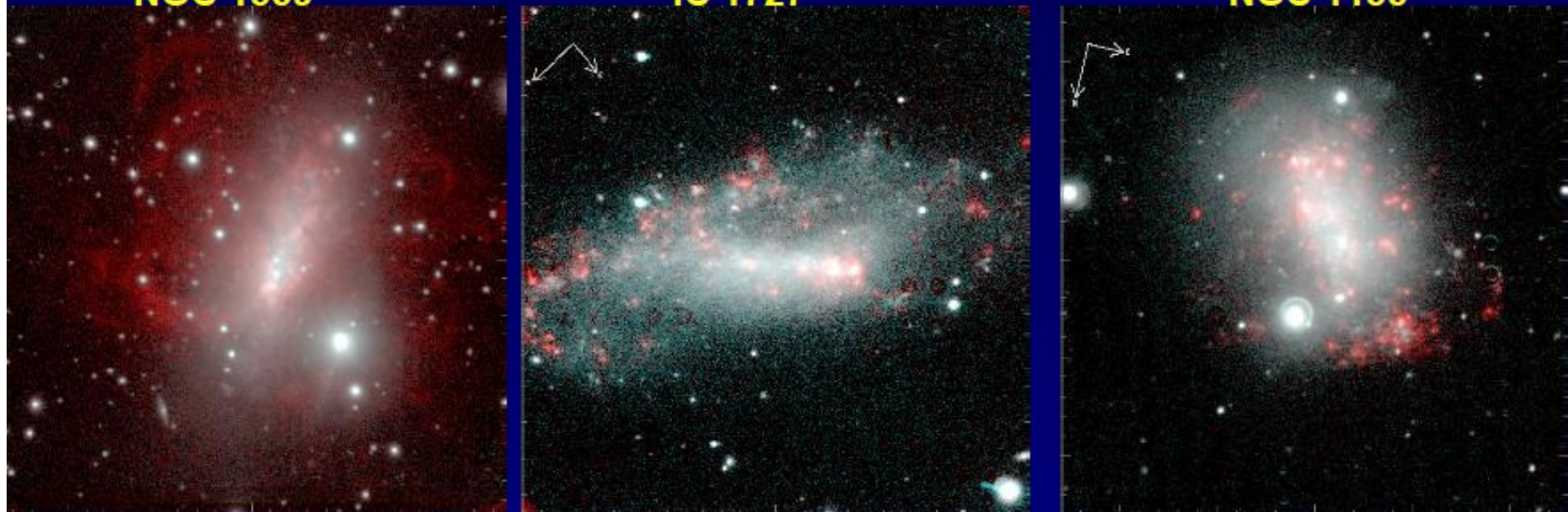
Сильная зависимость результата от качества изображений привело к тому, что задачи по фотометрии слабых звездообразных объектов (пульсары, GRB, слабые астероиды) за последние 10-20 лет постепенно “ушли” с БТА.

А что же пришло? -> поверхностная фотометрия в узких и широких фильтрах

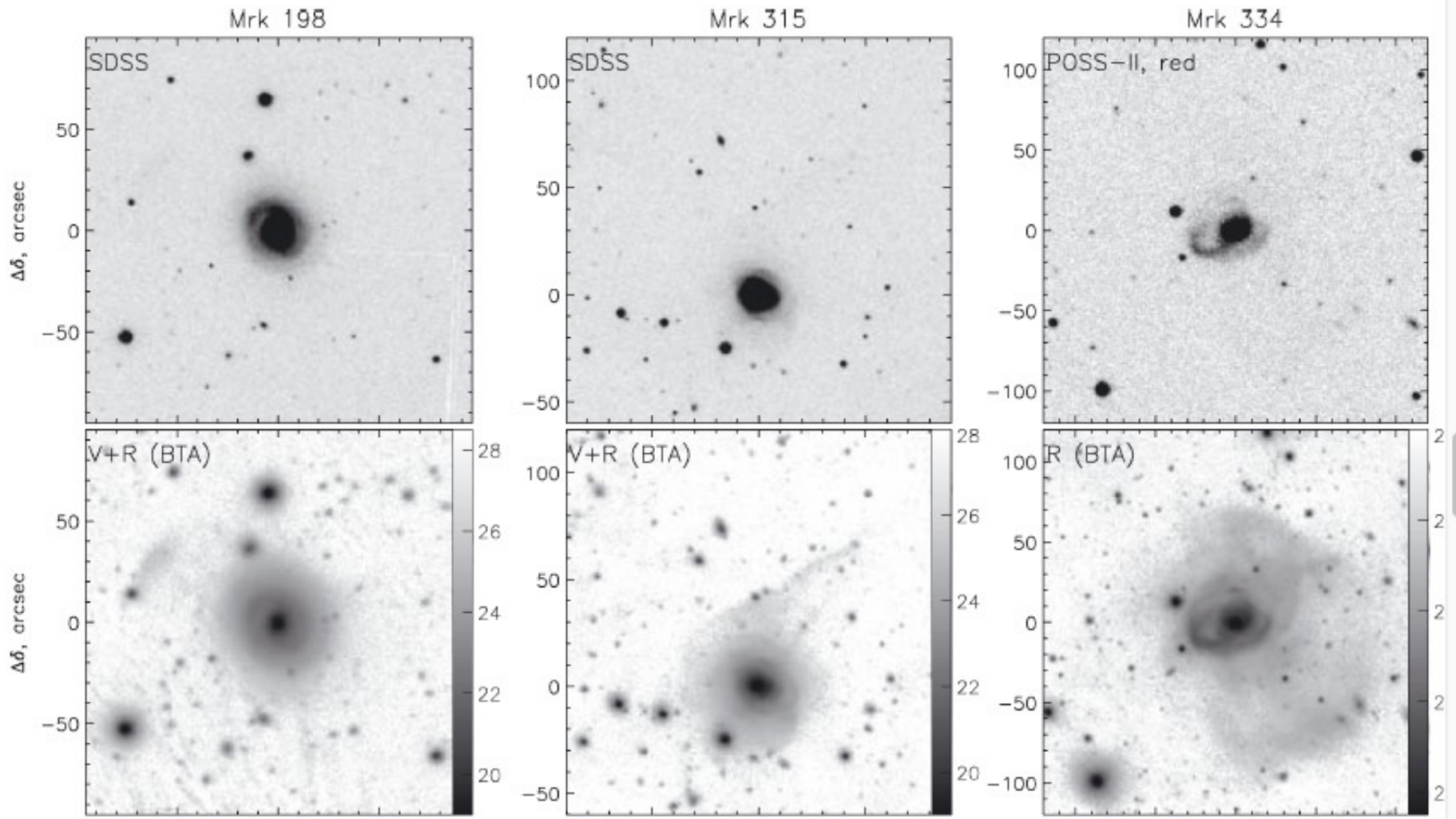
NGC 1569

IC 1727

NGC 1156



Внешние приливные структуры в галактиках



Smirnova, Moiseev, Afanasiev (2010)

R(600sec, S/N=3): 26-26.5 mag/arcsec²

SCORPIO: Johnson-Cousins (UBVRcIc).

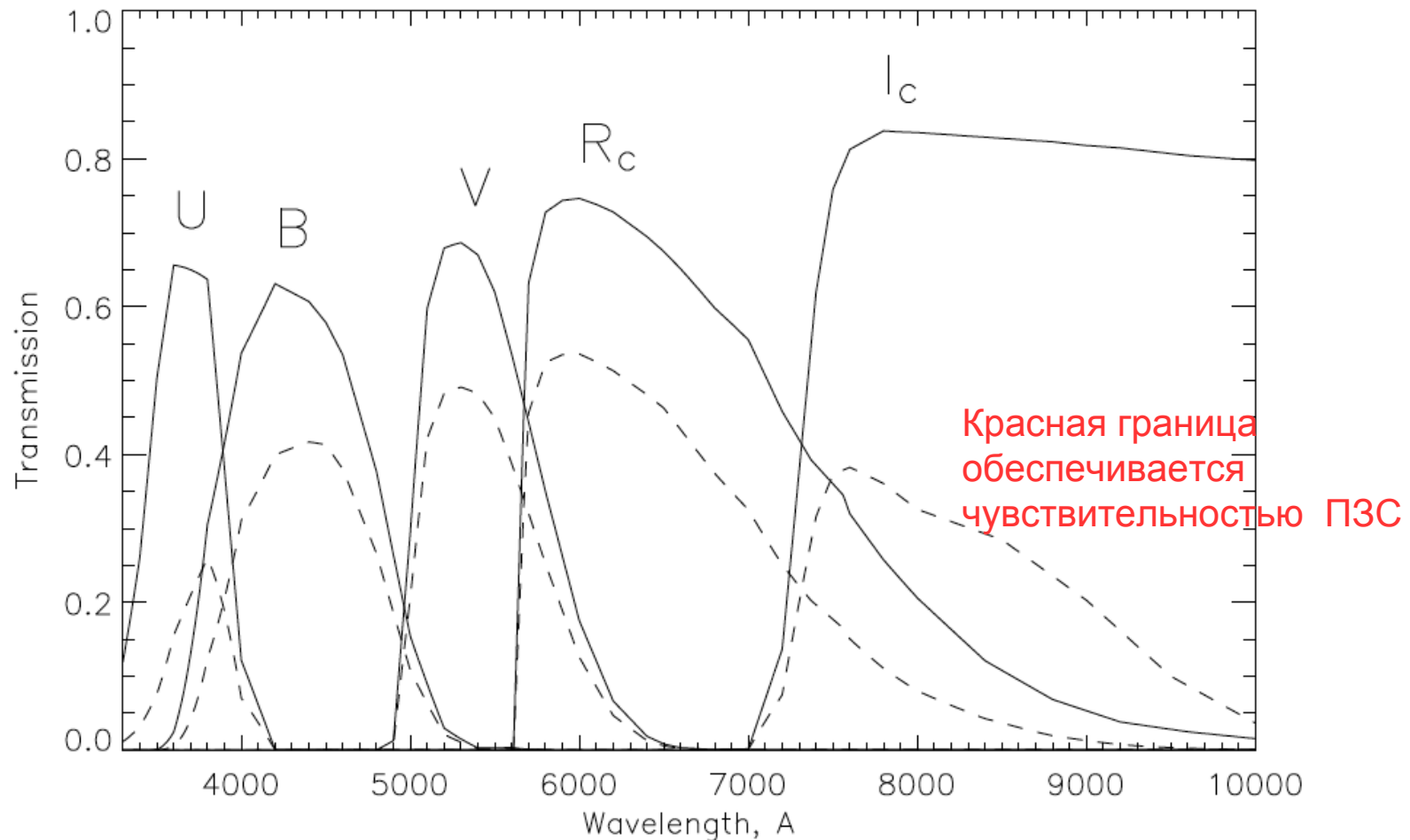


Рис. 8: Сплошными линиями показано спектральное пропускание стеклянных светофильтров. Пунктир – кривые пропускания с учетом пропускания SCORPIO и чувствительности ПЗС EEV-42-40

SCORPIO-2: SDSS

Множество вторичных
стандартов на небе!

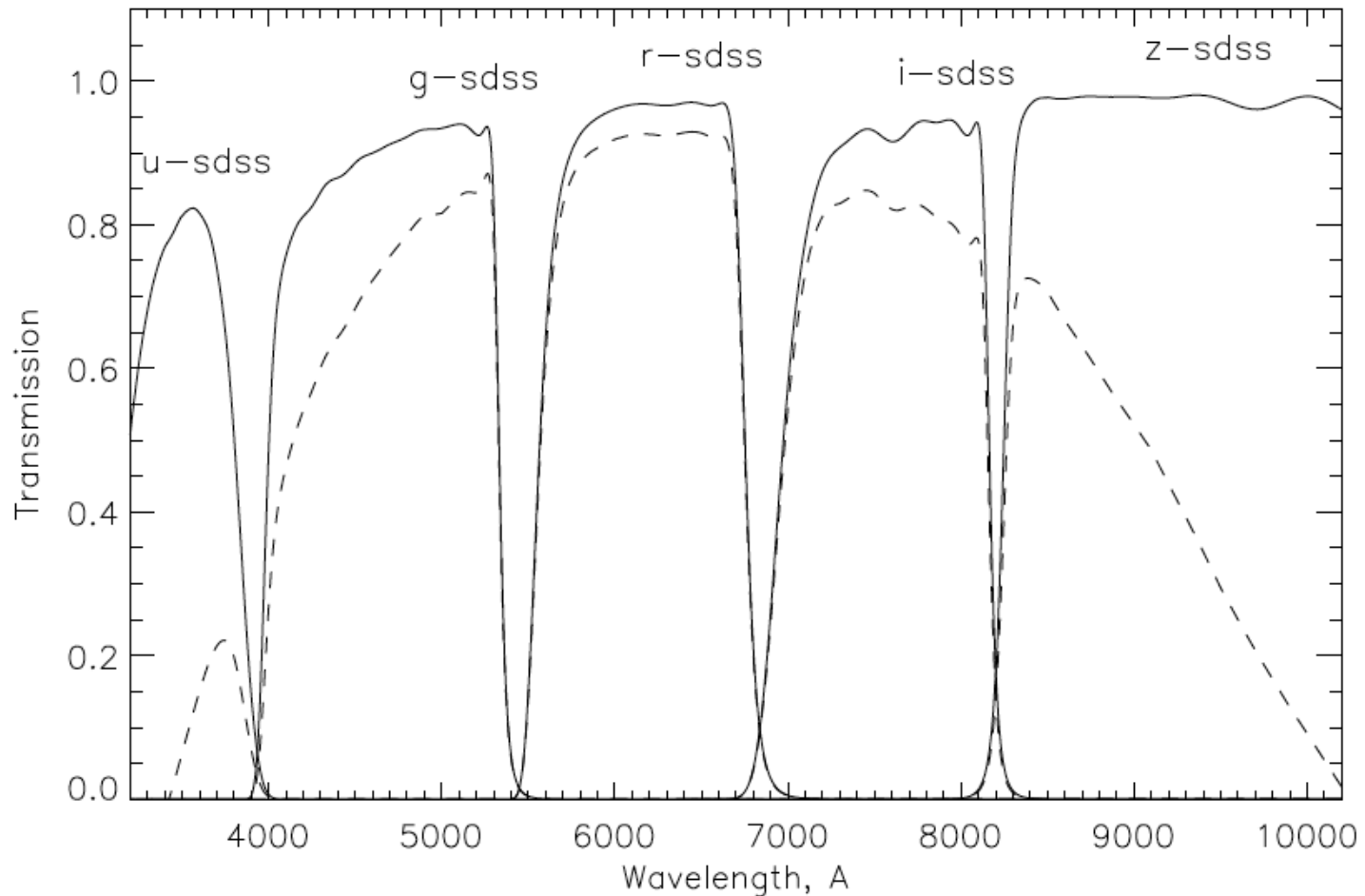
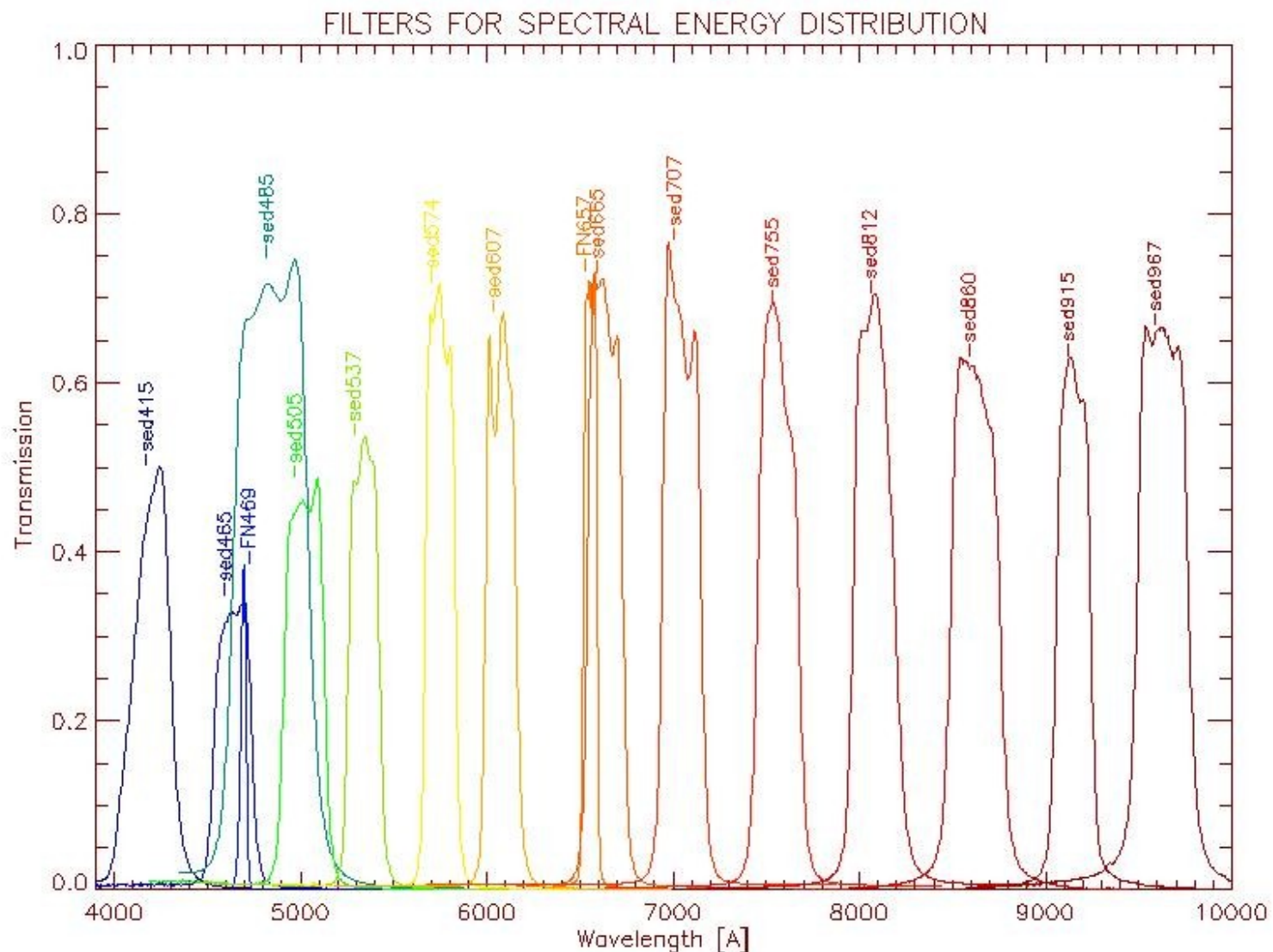
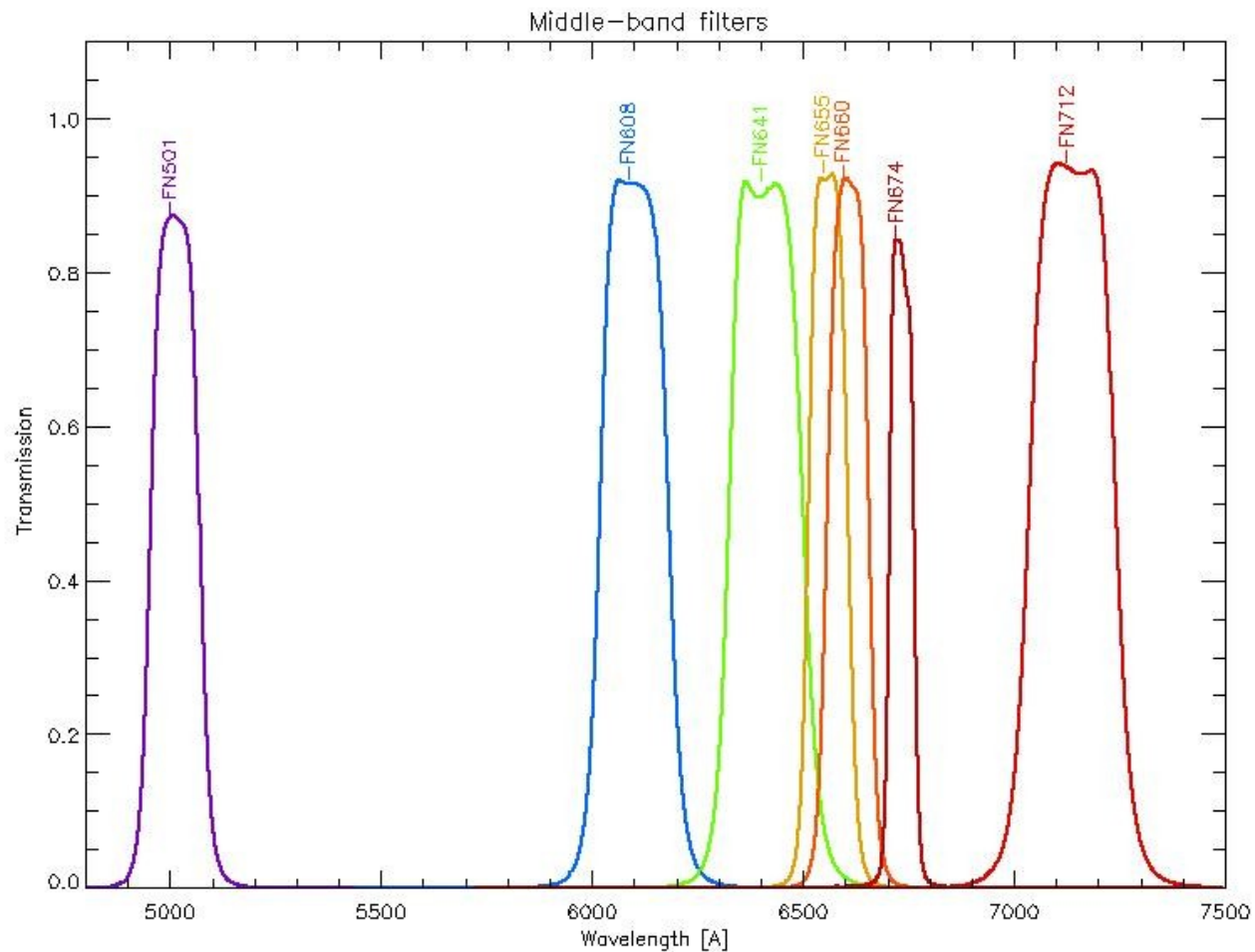


Рис. 5: Кривые спектрального пропускания светофильтров SDSS (сплошные линии). Данные производителя. Пунктир – с учетом чувствительности ПЗС E2V-42-90.

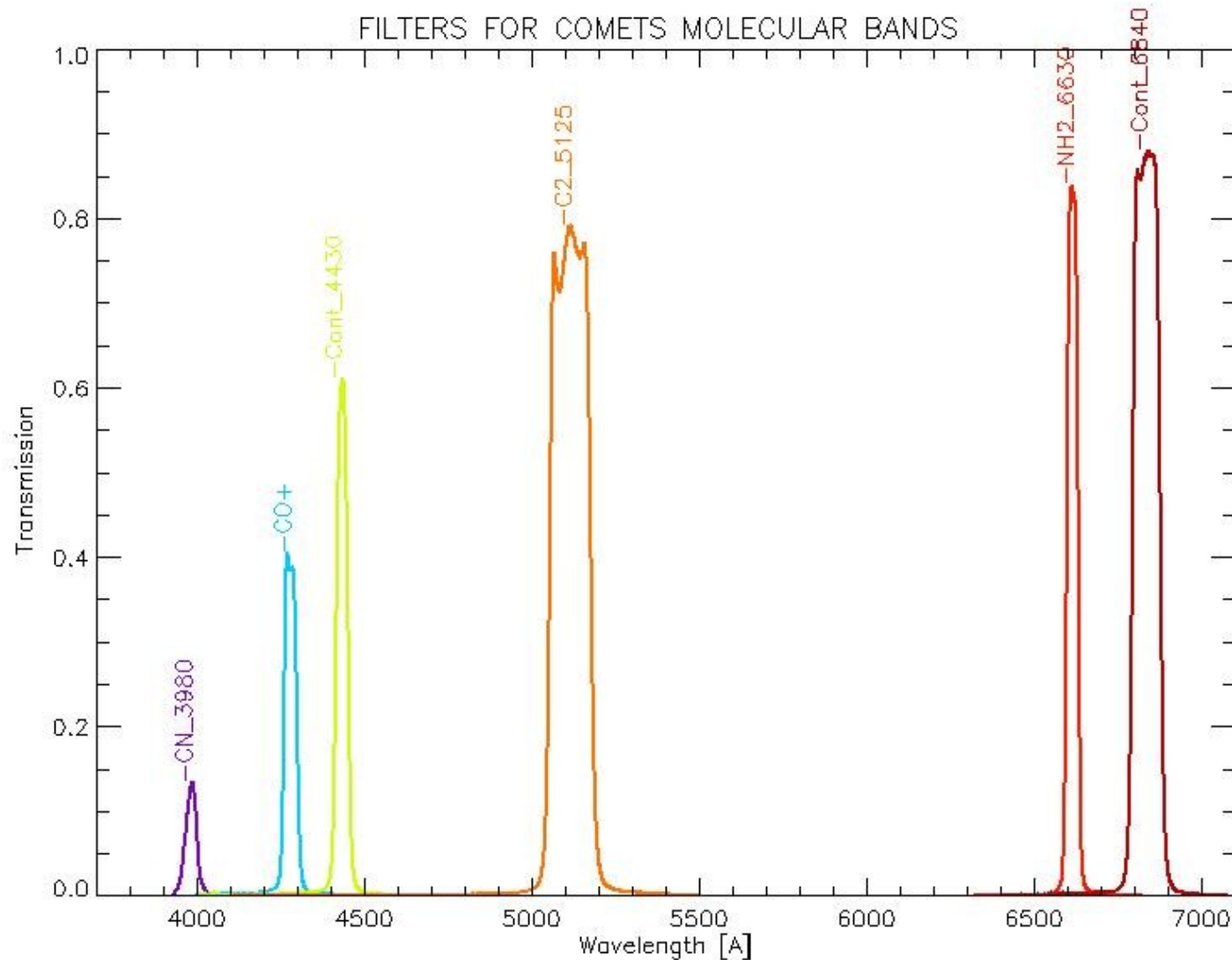
Среднеполосные фильтры: SCORPIO-1



Среднеполосные фильтры: SCORPIO-2



Среднеполосные фильтры: SCORPIO-2



Контраст эмиссионных линий в фильтрах

f_λ – средняя плотность потока
вне линии (континуум, фон неба...)

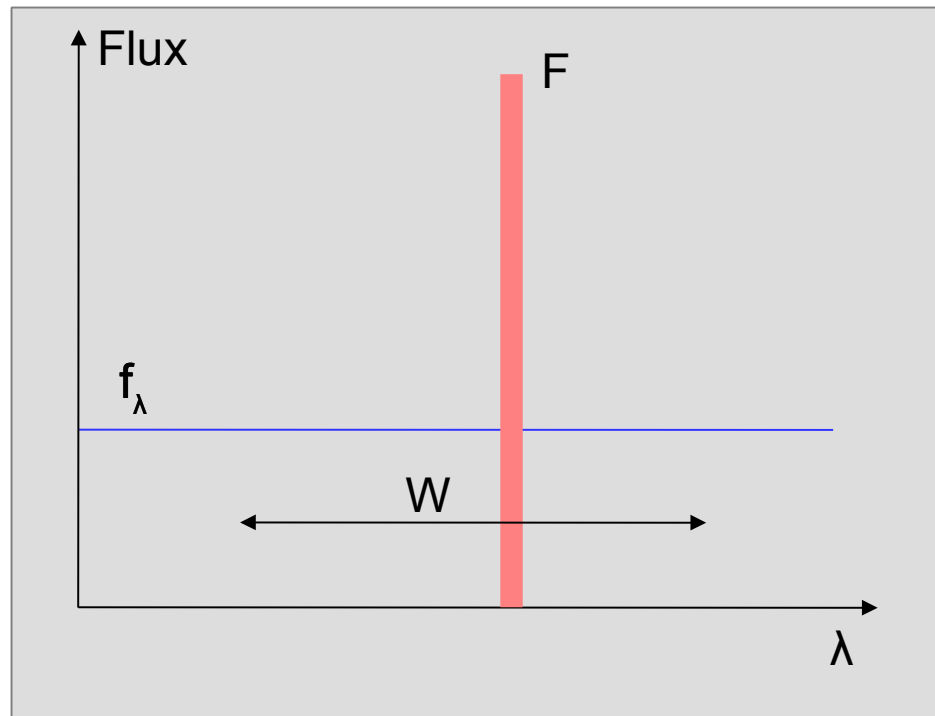
F – поток в линии

W – ширина полосы фильтра

$$S/N = \frac{Ft}{\sqrt{(F + f_\lambda W)t}}$$

в приближении “слабого объекта”:

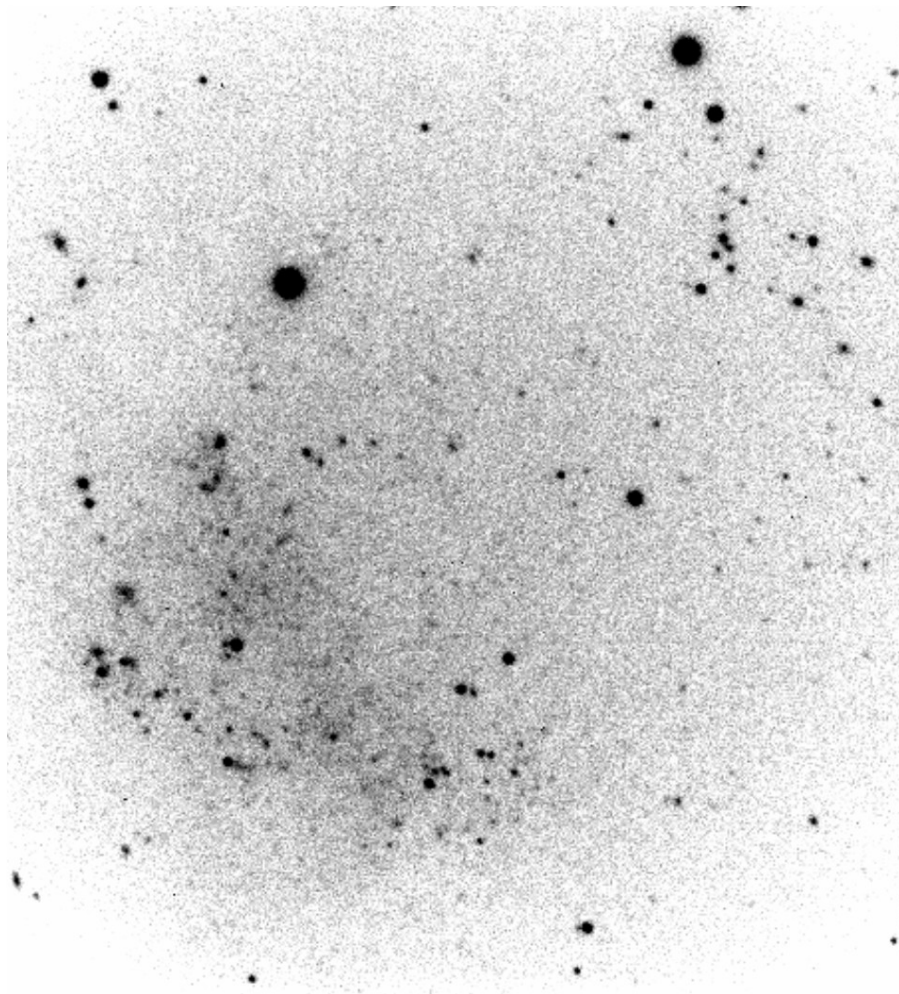
$$S/N \sim \sqrt{\frac{t}{W}}$$



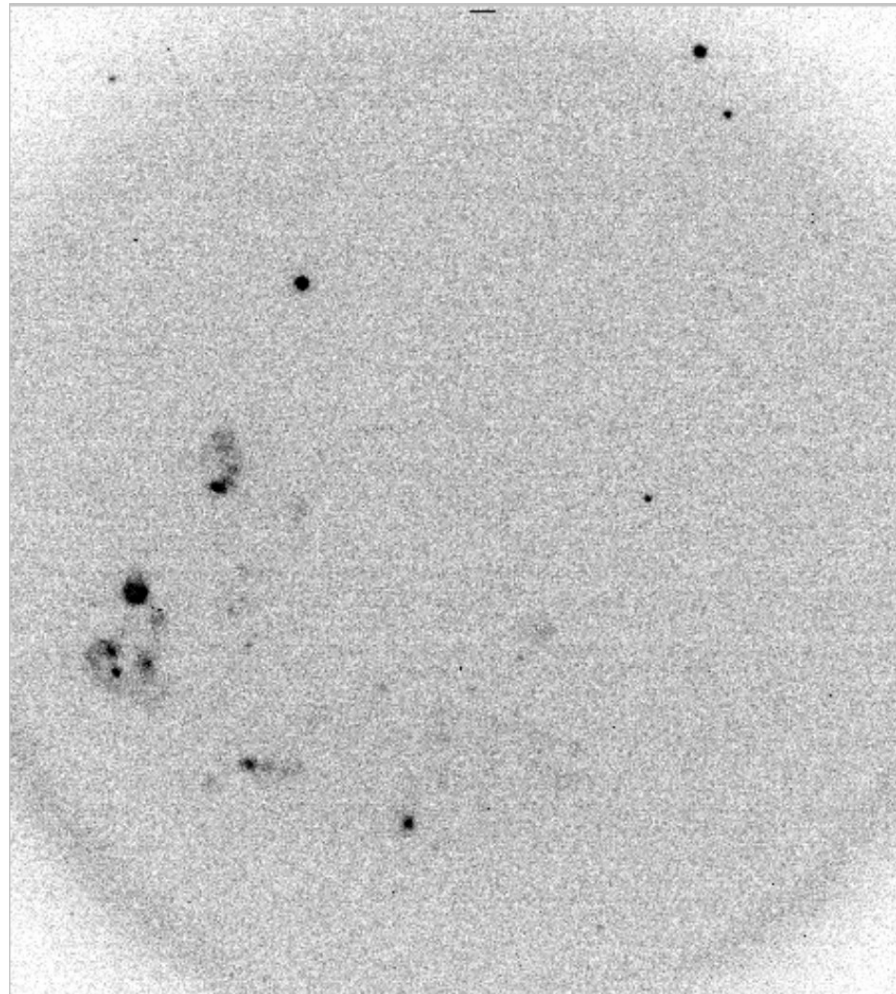
Уменьшение ширины фильтра эквивалентно увеличению времени экспозиций

Holmberg I SCORPIO-2 T=60 сек

R (W=1500 A)



#77B (W=14 A)



Все эти эмиссионные оболочки есть и на левом снимке, но задавлены шумами

Проблемы снимков в линиях

Все кажется простым когда эмиссия яркая, а континуум слабый:

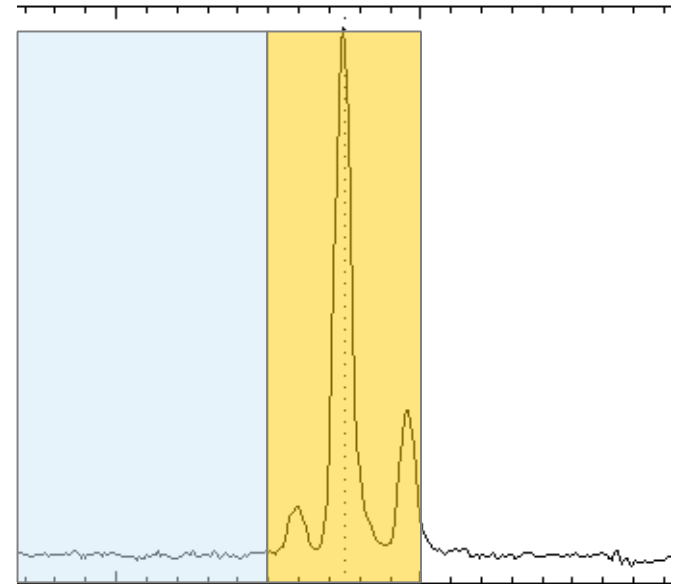
- фильтр для эмиссии $F(\text{emis})$
- фильтр на континуум $F(\text{cont})$

$\text{FWHM}(\text{cont}) = [2-3] * \text{FWHM}(\text{emis})$
и пропорционально уменьшаем t

$$\text{NET} = F(\text{EMIS}) - k * F(\text{CONT})$$

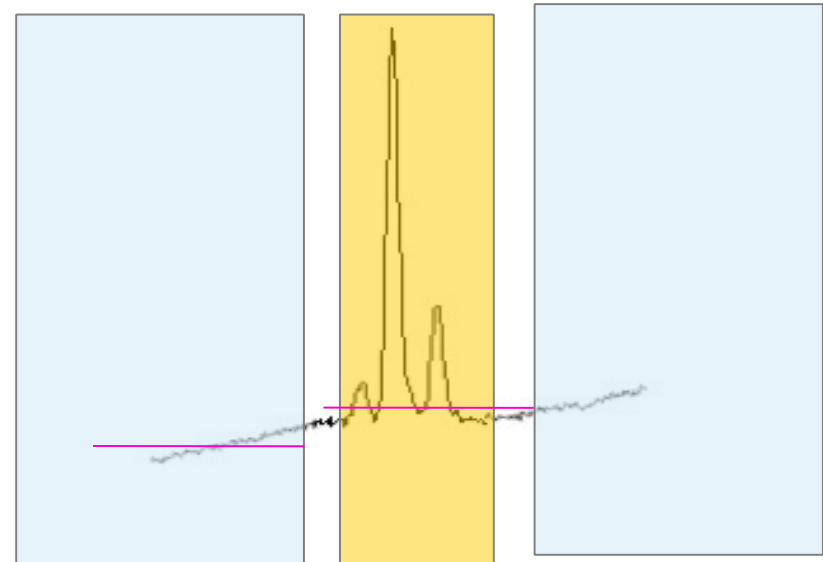
k – зависит не только от того, насколько отличаются ширины фильтров и экспозиции, **но и от наклона спектра** (насколько различается его уровень по длинам волн)

В это случае – хорошо ставить второй фильтра на континуум (но, затратно по времени и свободному месту в турелях)



$F(\text{cont})$

$F(\text{emis})$

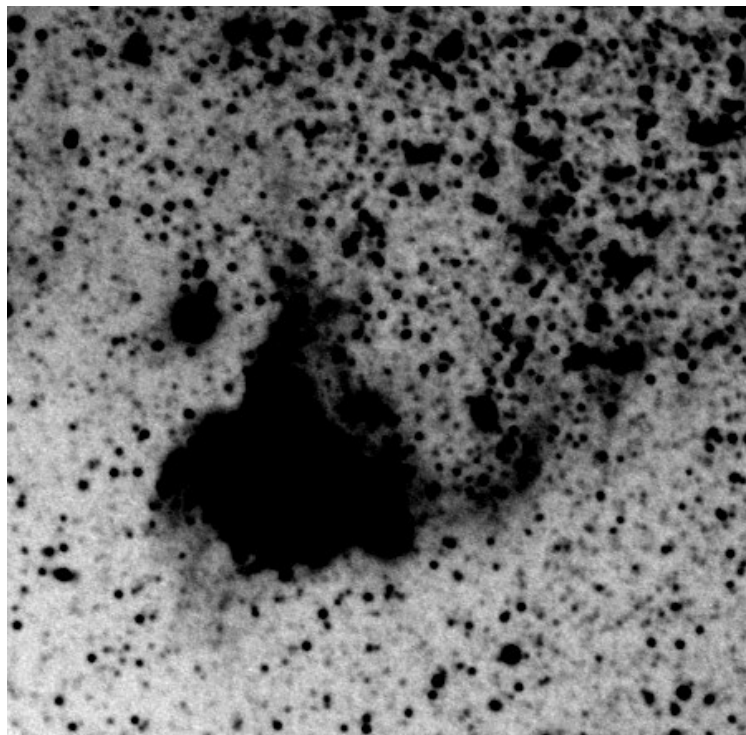


Решение: смотрим, как вычитаются звезды фона

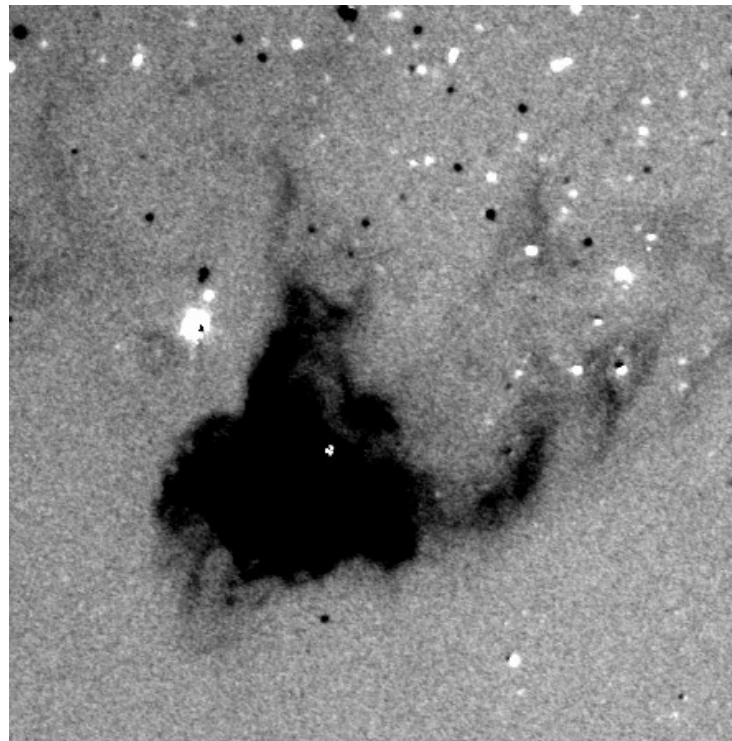
Проблема коэффициента k – мы не знаем вид спектра изучаемого объекта в каждой точке (если бы знали – не нужен был бы снимок)

Но если фильтры близки по длинам волн – можно считать, что спектр примерно “плоский” и в вашем объекте и в фоновых (в среднем)

$k=1,0$



$k=1.03$



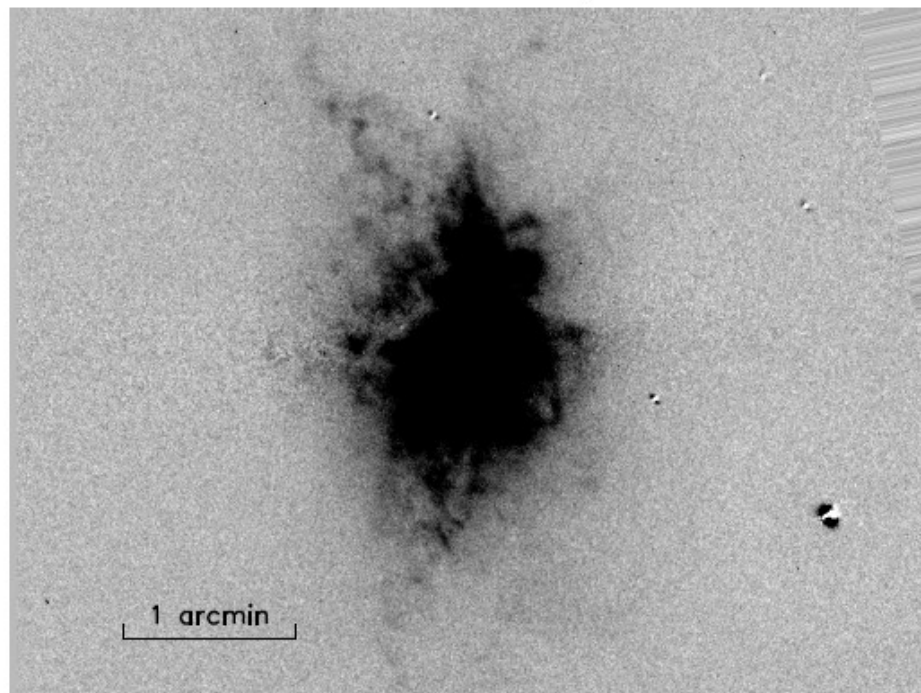
MaNGaL (перестраиваемый фильтр)

Почти идеальный вариант вычитания континуума, так как фильтр совсем узкий (FWHM~15Å)

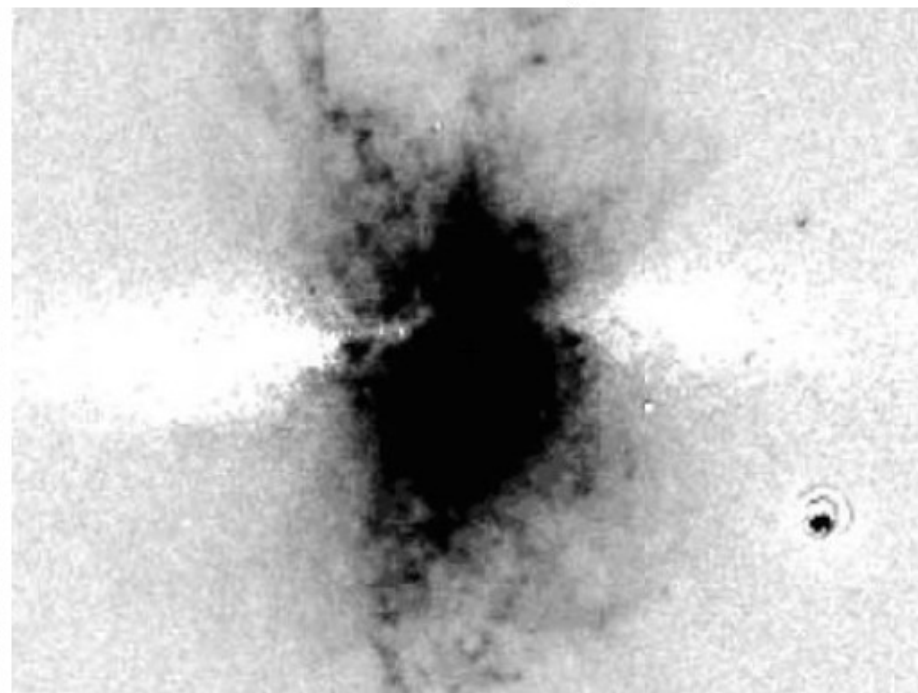
Mapper of Narrow Galaxy Lines (MaNGaL)

11

2.5-m MaNGaL, H α

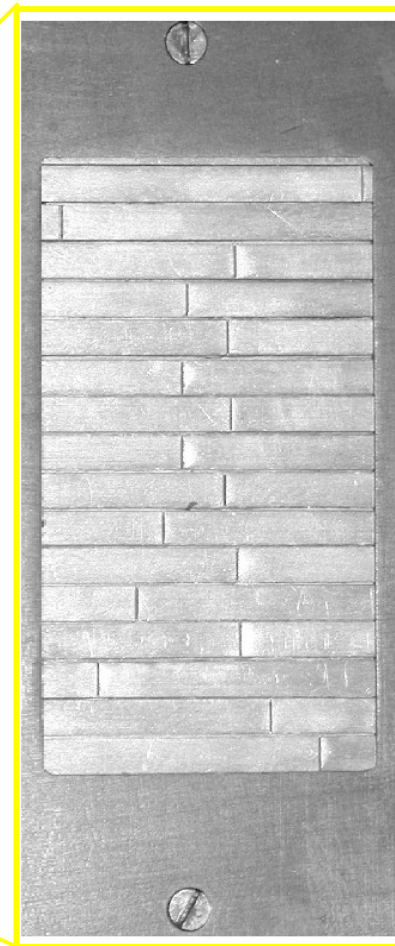
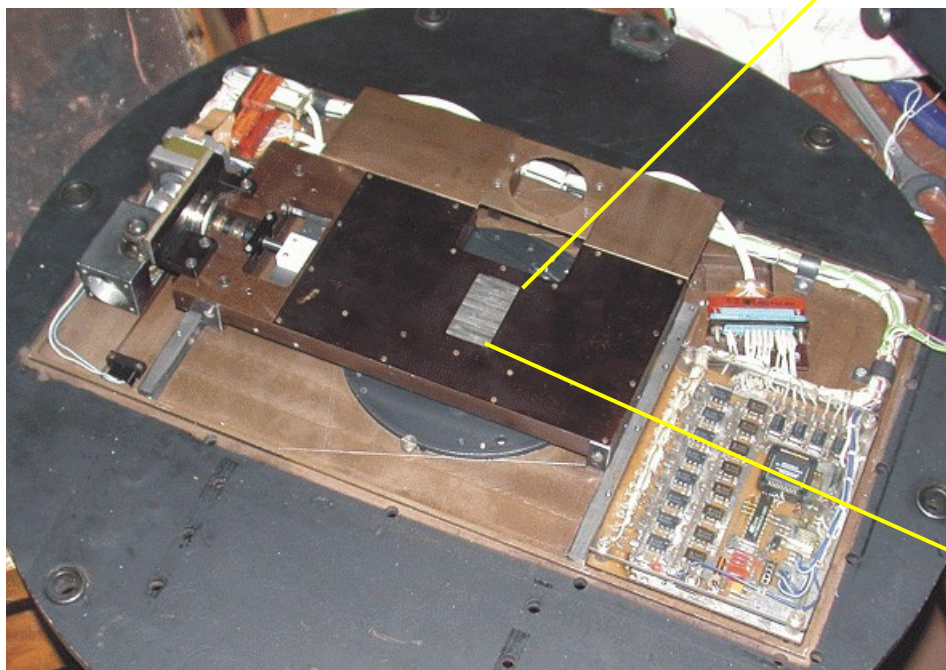


6-m SCORPIO, H α



SCORPIO-1: multislit

количество щелей : 16
высота каждой щели: 15"
полное поле зрения : 2.6' x 5.3'
точность расстановки щелей: 0.2"
время расстановки : ~5 минут



Multislit: results

Сокращение спектрального диапазона из-за смещений щелей от центра!

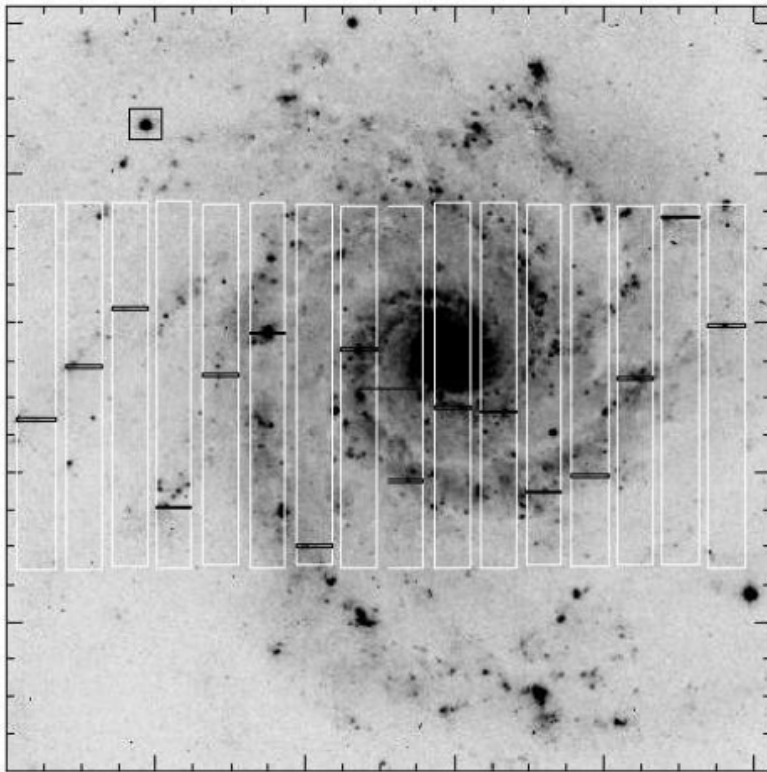
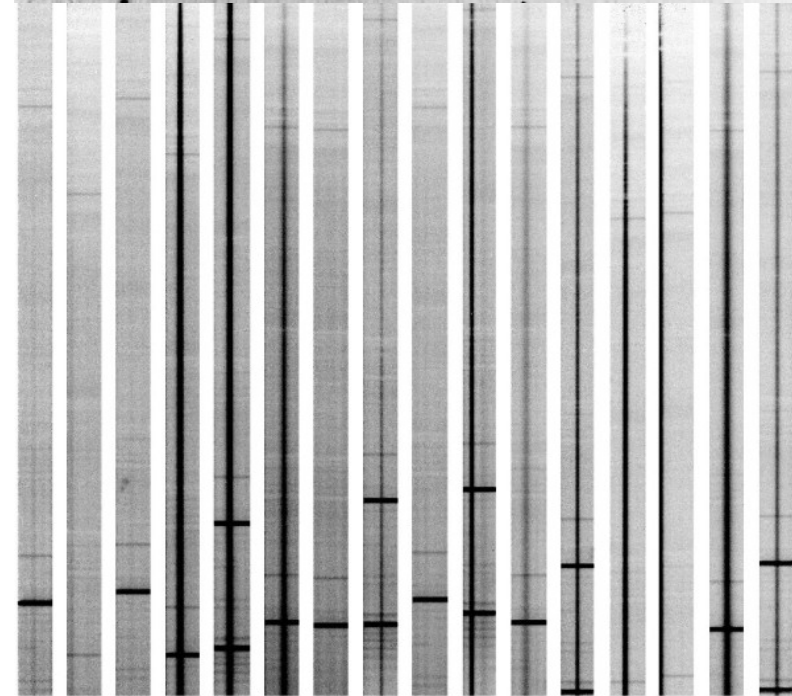
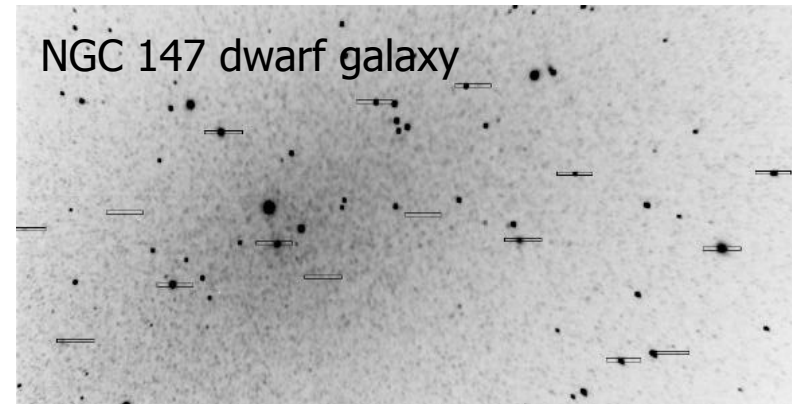


Figure 1. Disposition of 16 slits (black small horizontal rectangles) for NGC 628. North is upward and east is to the left ($P.A._{slits} = 90^\circ$). The size



Gusev et al (2012):
[O/Z], [N/Z] for 63 HII regions in six spiral galaxies

"Ages, metallicities and $[\alpha/Fe]$ ratios of globular clusters in NGC 147, 185 and 205" (Sharina, Afanasiev & Puzia_006)

Выбор конфигурации заранее

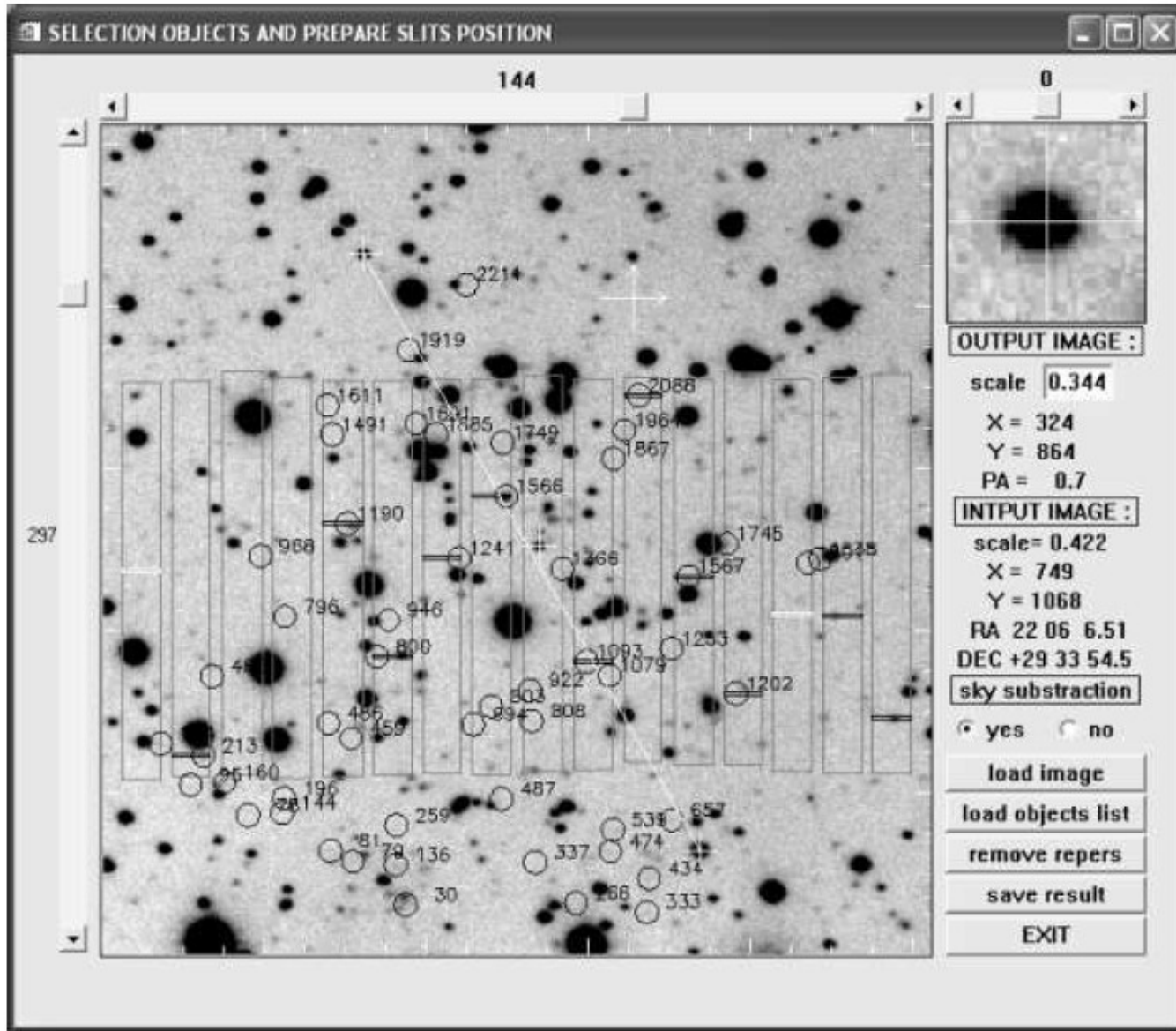
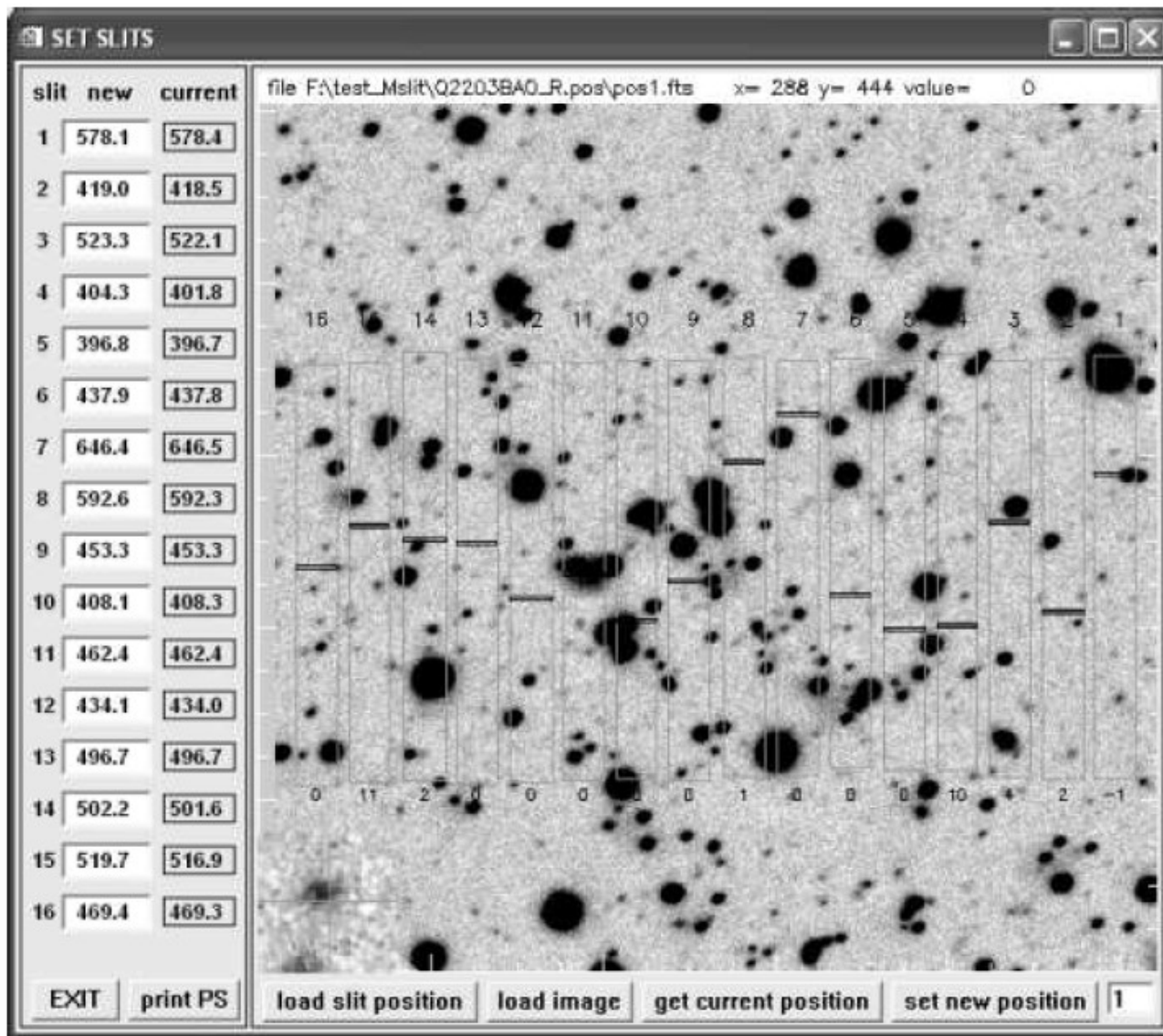


Рис. 22: Меню программы выбора объектов и определения координат щелей

Расстановка щелей в полуавтоматическом режиме



Проверка положения-
снимок щелей с неон

3-4 итерации

Мультик



Вместо заключения

Фокальный редуктор БТА дает много возможностей для разнообразных наблюдений, здесь есть не только длинная щель и широкополосные фильтры.

Об этом надо помнить и пользоваться!