

Многорезимный фокальный редуктор телескопа БТА

Лекция I.

Введение. Основные понятия.

ределы детектирования звездообразных и протяженных объектов. Редуктор светосилы на большом телескопе.

Семейство многорезимных "камер слабых объектов".

Особенности конструкции 6-м телескопа БТА.

Спектроскопия низкого разрешения на 6-м телескопе.

SCORPIO (SCORPIO-1) и SCORPIO-2.

О чем этот курс?

- Фокальные редукторы БТА: характеристики, особенности наблюдений, обработка данных.

SCORPIO(-1)



SCORPIO-2

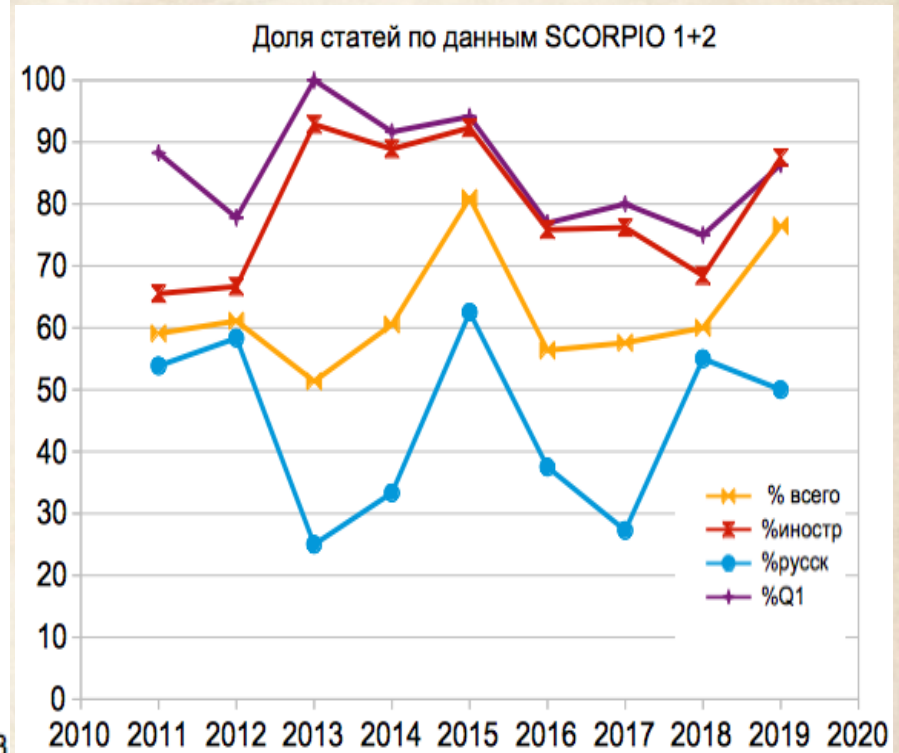
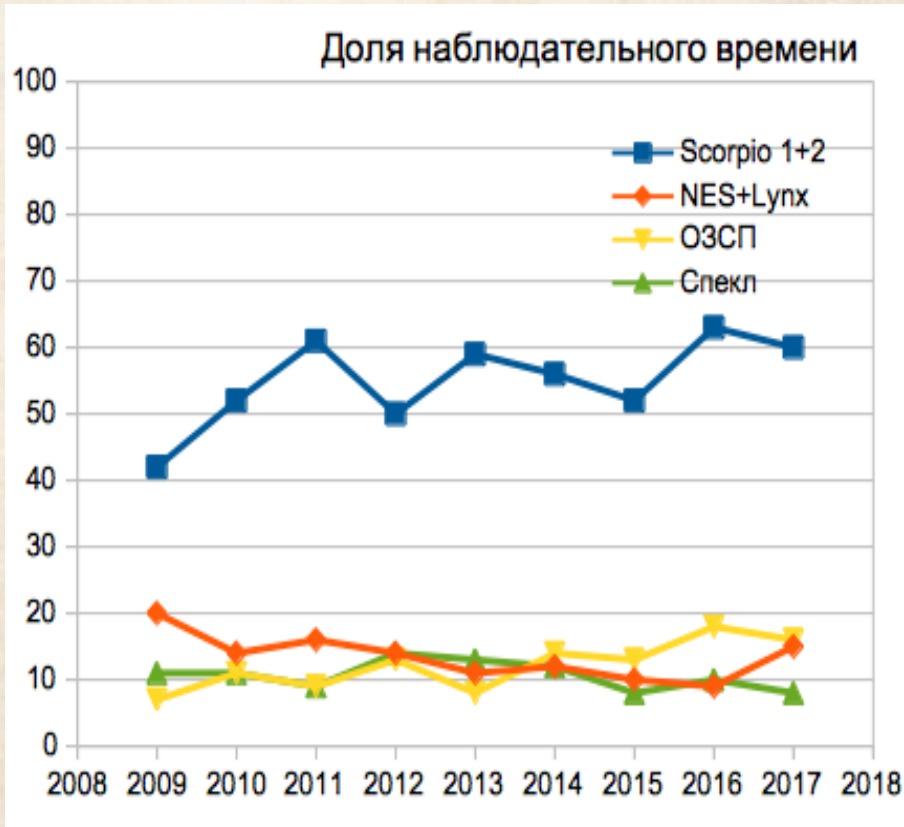


Spectral Camera with Optical Reducer for Photometric and Interferometric Observations

- Обсуждение общих вопросов и проблем, связанных со спектроскопией низкого разрешения, наблюдением слабых и/или протяженных объектов фотометрическими и спектральными методами

Почему SCORPIO?

“основной прибор на БТА”



(На основе годовых отчетов CAO РАН, доклад А. Моисеева на НКТРТ в октябре 2019 г.)

Базовые понятия: спектроскопия и фотометрия

Википедия:

Фотометрия — общая для всех разделов прикладной оптики научная дисциплина, на основании которой производятся количественные измерения энергетических характеристик поля излучения.

Спектроскопия — раздел физики, посвящённый изучению спектров электромагнитного излучения.

Мартынов Д.Я. “Курс практической астрофизики”:

Фотометрия — наука о световых измерениях

Спектроскопия — разложение света по длинам волн на его монохроматические составляющие

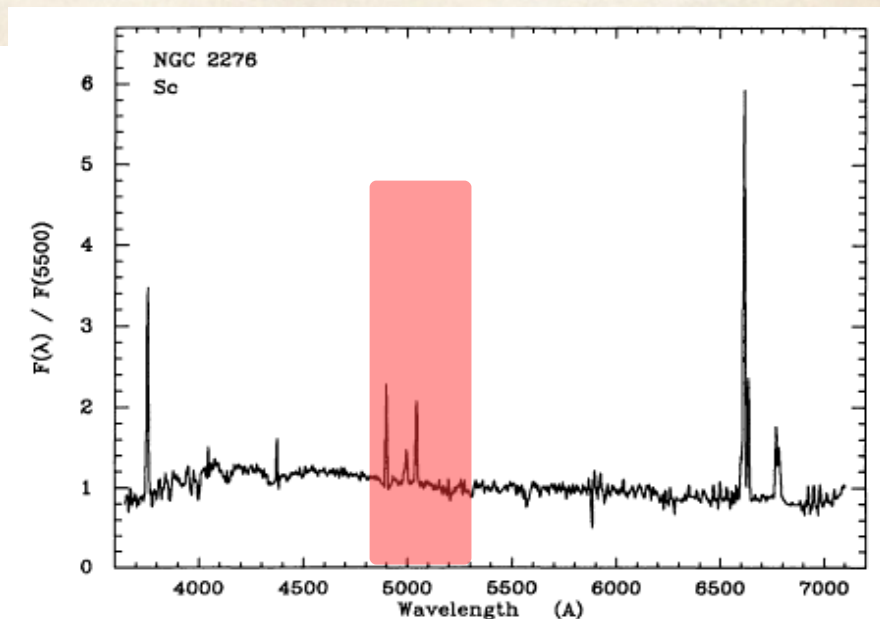
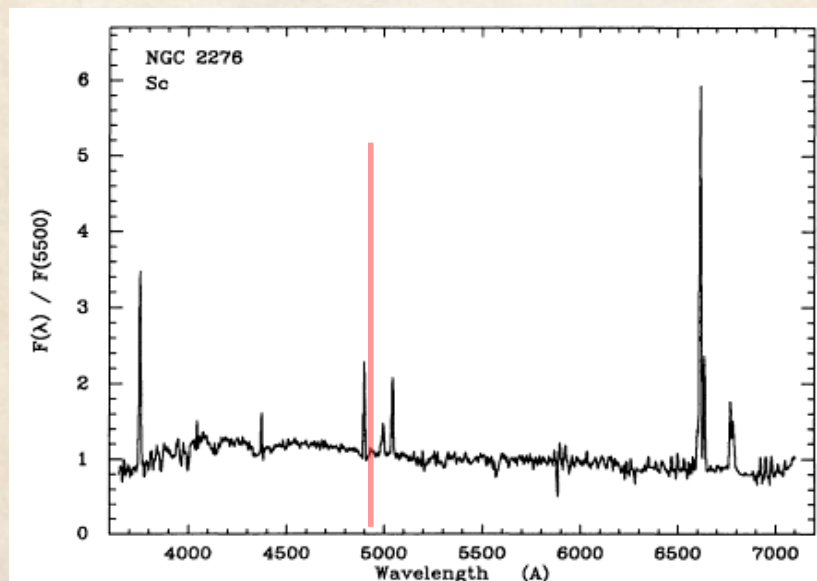
Спектроскопия и фотометрия: “практическое” определение

Наивное:

Фотометрист работает с картинкой, а спектроскопист — со спектром.

Но бывает апертурная фотометрия и панорамная спектроскопия

Мы всегда наблюдаем распределением энергии и в картинной плоскости и вдоль длины волны. Но если наше энергетическое разрешение (“ширина фильтра”) позволяет разделять характерные детали в спектре – это спектроскопия. А если наоборот – фотометрия :)



Базовые понятия: спектроскопия низкого разрешения

$R = \lambda/d\lambda = 300-3000$ (resolution power=разрешение)

В оптическом диапазоне это от ~ 2 до 30 \AA

Достаточно для:

- Измерения красного смещения
- Определения типа объекта
- Изучения кинематики газа в туманностях и галактиках
- Измерения химсостава газа и условий его ионизации, оценок T_e и n_e (разделения основных дублетов: $10-20 \text{ \AA}$)
- Изучения кинематики звездных подсистем

Также будем обсуждать наблюдения со сканирующим ИФП $R=3000-15000$

Поляриметрию обсуждать не будем — это тема отдельного курса

Базовые понятия: слабые/яркие объекты

«Для данного телескопа одна и та же звезда может оказаться яркой или слабой, в зависимости от качеств изображения и яркости фона ночного неба..» (П.В. Щеглов, «Проблемы оптической астрономии», 1980)

D – диаметр апертуры;

β – угловой размер звезды (рад);

s – фон неба (квант $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{стер}^{-1}$)

n_* – поток от звезды (квант $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$)

$N_* = D^2 n_* t$, $N_s = D^2 \beta^2 s t$

отношение сигнал-шум:

$$(S/N) = \frac{N_*}{\sqrt{N_* + N_s}}$$

Яркий объект ($N_* \gg N_s$):

$$(S/N) = \frac{N_*}{\sqrt{N_*}} = D \sqrt{n_* t}$$

Слабый объект ($N_* \ll N_s$):

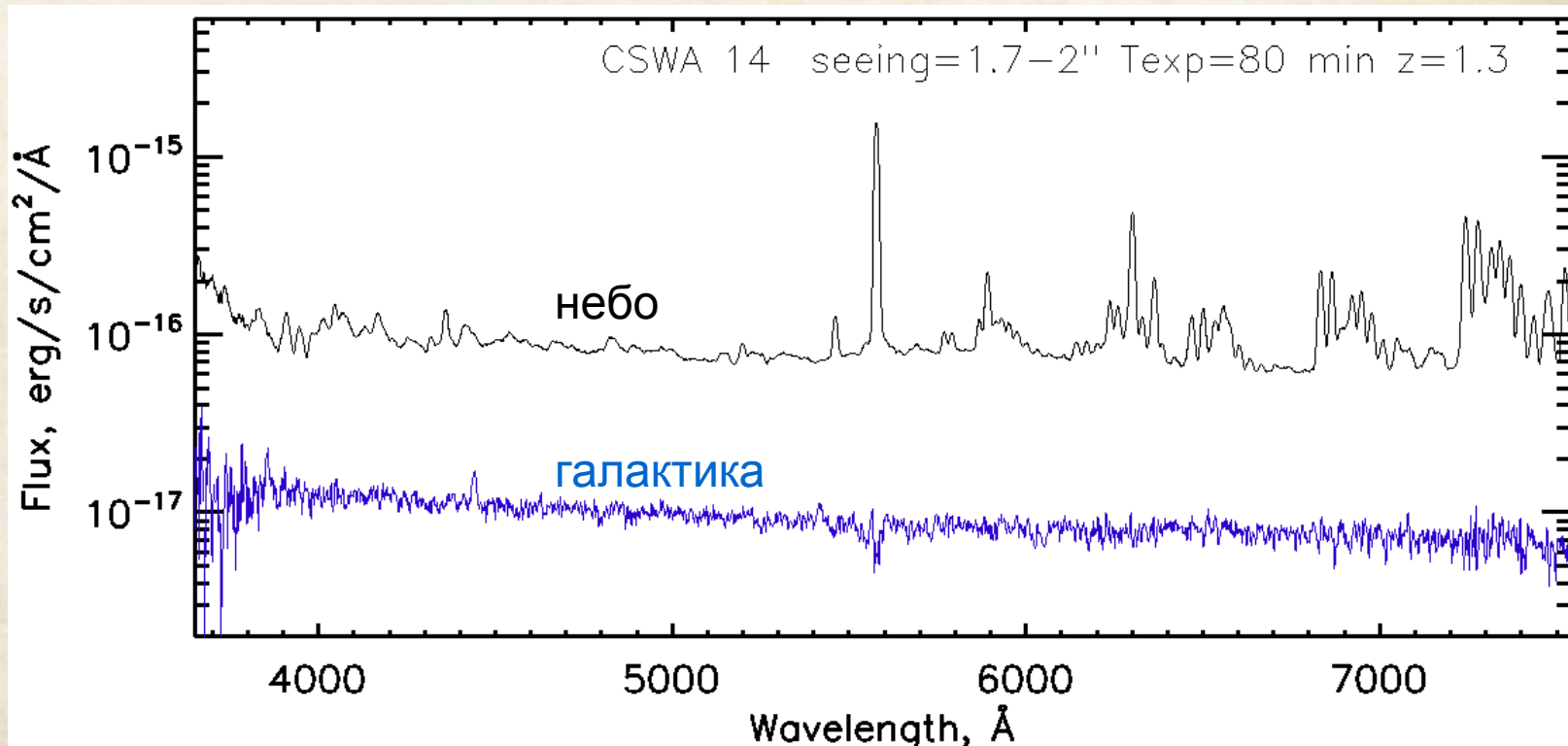
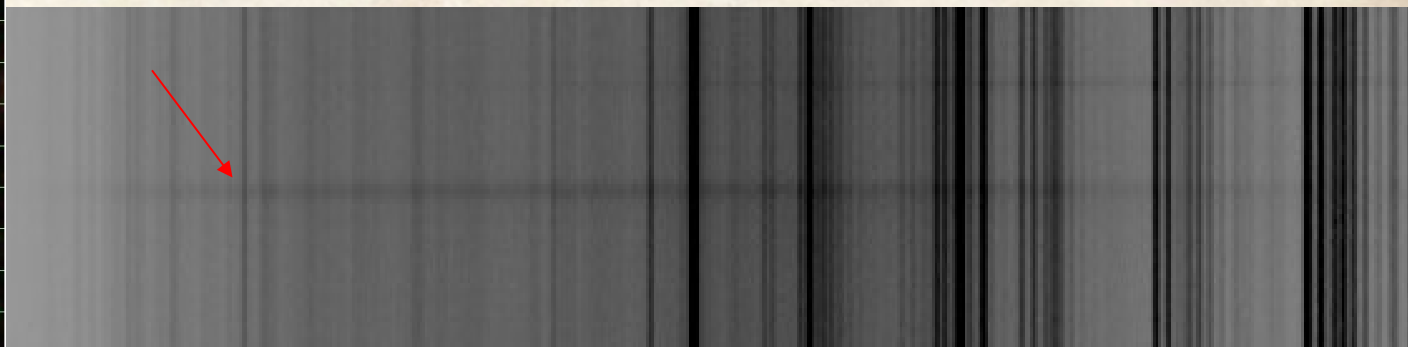
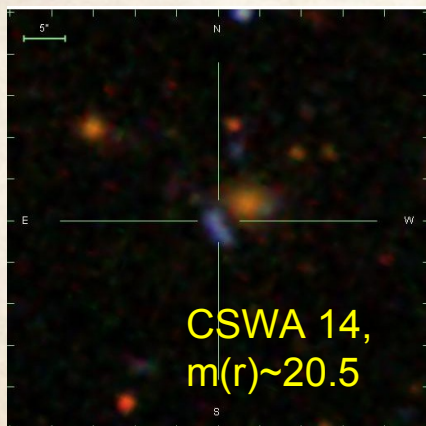
$$(S/N) = \frac{N_*}{\sqrt{N_s}} = \frac{D^2 n_* t}{D \beta \sqrt{s t}} = \left(\frac{D}{\beta} \right) n_* \sqrt{\frac{t}{s}}$$

Кто дает основной вклад в статистику шумов?

← при условии, что регистрируем ВСЕ свет звезды (идеальная широкощельность)

Условная граница ~20 зв. величина

Спектроскопия слабого объекта



Базовые понятия: протяженные объекты

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

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

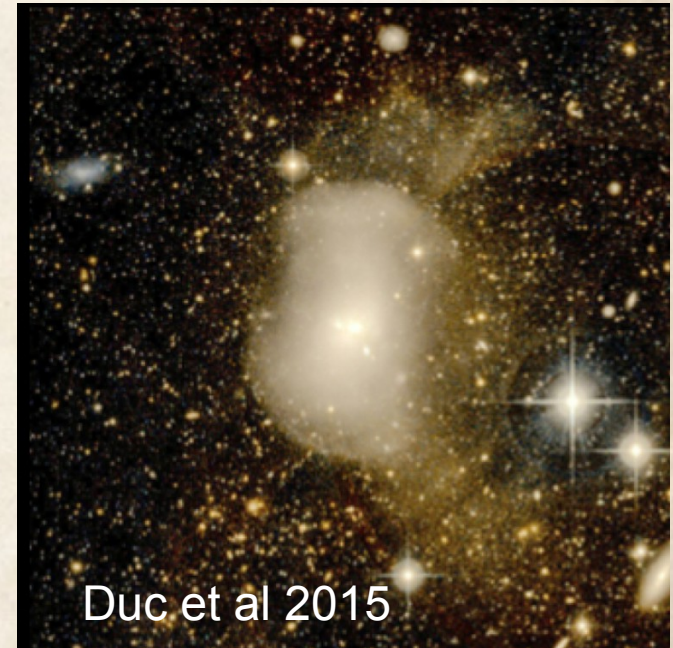
Для протяженного - светосила (D/F) играет роль в той же степени, что линейный размер пикселя (p).

s_* - поверхностная яркость объекта (квант $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{стер}^{-1}$)
 $p' = p/F$ - размер пикселя в угловой мере

$$(S/N) = \frac{D^2 (p')^2 s_* t}{\sqrt{D^2 (p')^2 s_* t + D^2 (p')^2 st}} = \frac{D (p') s_*}{\sqrt{s + s_*}} = p \frac{D}{F} \frac{s_*}{\sqrt{s + s_*}}$$

Но важны и такие факторы, как:

- рассеянный свет в системе (отражение от оптики и т. п.)
- вычитание фона (включая и звезды — косвенная зависимость от β !)



Фокальный редуктор

Идея и реализация - *Georges Courtes* (1952)

Прямой фокус телескопа не всегда обеспечивает лучшие наблюдательные параметры, особенно в случае крупных телескопов с большим фокусным расстоянием и избыточной дискретизацией изображения в нем, при том, что современные детекторы имеют ограниченные размеры...
(Courtes, 1994)

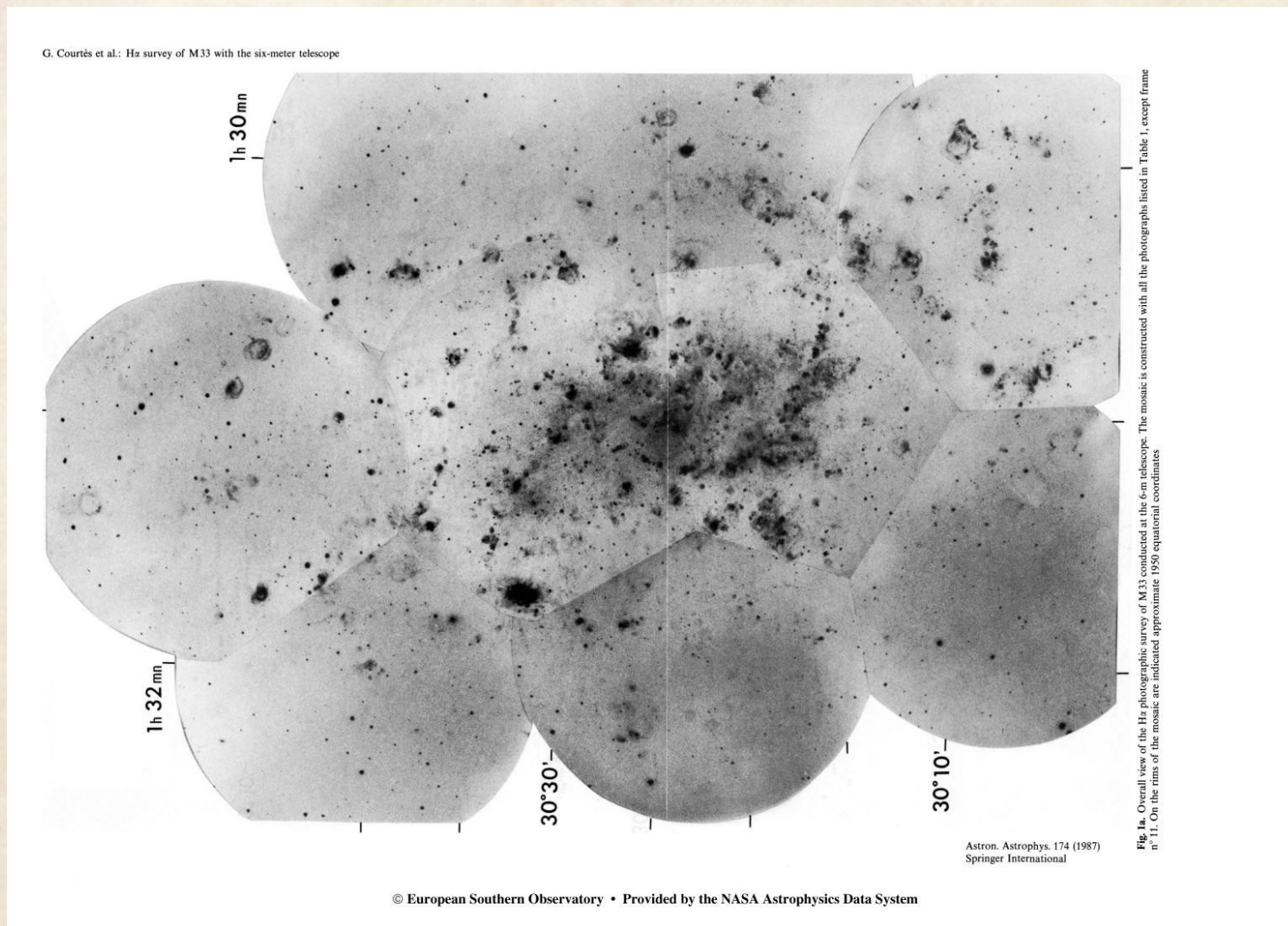
БТА: масштаб = $24 \text{ м} / 206265'' = 116 \text{ мк} / ''$
 $p = 13.5 \text{ мк} \Rightarrow 0.12'' / \text{пиксель}$ (излишняя детализация)

Вопрос: Почему «редуктор» светосилы, ведь светосила, наоборот, увеличивается?

Ответ: редуктор уменьшает эквивалентное фокусное расстояние, а о светосиле системы судят по отношению F/D .

$F/4$ (БТА) $\Rightarrow F/2.6$ (БТА+SCORPIO)

Фокальный редуكتور Куртеса на БТА



F/1(!) observations 1979-1985

Courtes, G.; Petit, H.; Petit, M.; Sivan, J.-P.; Dodonov, S. (1987, A&A, 174, 28)

Фокальный редуктор Куртеса на БТА



"История САО РАН
в фотографиях
1965-2010"

Фото 4. Наблюдательная команда, выполнявшая на БТА обзор очагов звездообразования в галактиках М31 и М33. Справа налево: "папаша" Ж. Куртес, С.Н. Додонов, П. Сиван, В.Л. Афанасьев, В.Е. Караченцева, А. Пети, И.Д. Караченцев и Ж. Булестекс.

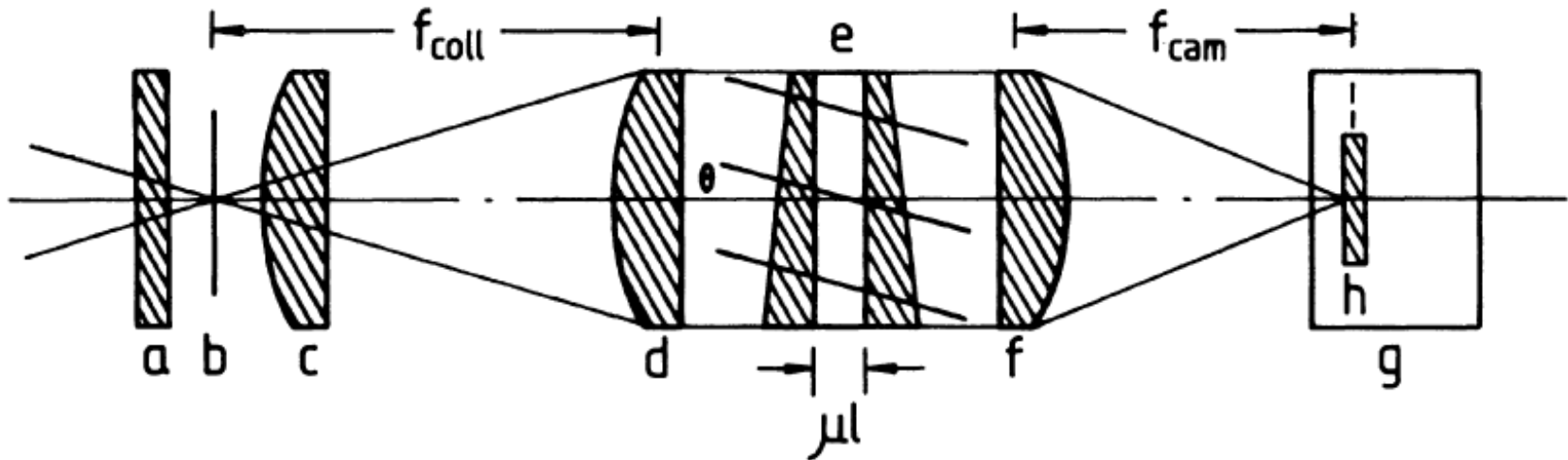
F/1(!) observations 1979-1985

Courtes, G.; Petit, H.; Petit, M.; Sivan, J.-P.; Dodonov, S. (1987, A&A, 174, 28)

Фокальный редуктор: задачи

1. Увеличение светосилы для наблюдения слабых протяженных объектов (от $F/20..F/4$ до $F/2..F/1$)
2. Диспергирующие элементы необходимо устанавливать в параллельный пучок
3. Возможность использования нескольких режимов (прямые снимки, длинная щель, ИФП)

J. BLAND AND R. B. TULLY: THE HIFI



$$f_{\text{coll}} > f_{\text{cam}}$$

FIG. 1. Schematic drawing of an imaging Fabry-Perot interferometer comprising (a) interference filter, (b) focal plane, (c) field lens, (d) collimator lens, (e) Fabry-Perot etalon, (f) camera lens, (g) Dewar housing, (h) CCD.

Семейство многорежимных «камер слабых объектов»

- Массовое применение система Ричи-Кретьена – много преимуществ (компактность, широкое поле), но не очень высокая светосила в фокусах Кассегрена и Несмита.
- Переход в спектрографах низкого разрешения на прозрачные решетки, в том числе и голографические (VRHG)
- Проблема наведения щели спектрографа на предельно слабые объекты
- Даже для ярких, но протяженных объектов – важно точно знать положение щели.

Семейство многорежимных «камер слабых объектов»

ESO 3.6 м телескоп EFOCS (Buzoni et al., 1984)
(ESO Faint Object Spectrograph and Camera)

EFOOSC2: 8 (!) режимов наблюдений (1997):

- direct imaging,
- long-slit,
- slitless,
- echelle,
- imaging polarimetry,
- spectropolarimetry,
- coronagraphy,
- Multiple Object Spectroscopy



Современные приборы 2-10 м телескопов:
AFOSC (Asiago, 1.92m)
DFOSC (Danish 1.54 m)
TFOSC (RTT, 1.5m)
FORS-2 (VLT 8.2m)
DOLLORES (TNG 3.6 m).

VLT/FORS2: **F**Ocal **R**educer and low dispersion **S**pectrograph



Scale: 0.25"/pixel and 0.125"/pixel
FOV: 6.8' x 6.8' and 4.25' x 4.25'

Imaging: 9 filters
(narrow-band filters are exchangeable)

Spectroscopy:
13 gratings
9 long-slits: 0.3" — 2.5"

Moveable Slitlets (MOS) mode
a set of 19 pairs of arms

Spectroscopic Mask (MXU) mode
Mask of 470 slits

Polarimetry
using a remotely controlled rotatable
 $\lambda/2$ - or $\lambda/4$ -plate + Wollaston prism.

Проблемы изначальные: телескоп



Главное зеркало $D=6$ м
Первичный фокус ($F/4$): $F=24$ м
Фокус Несмита ($F/30$): 180 м (!)

Первый свет – 1976 г.

Н.Г. Пономарёв
Д.Д. Максutow
Б.К. Иониссиани



6.5-m Magellan Baade

Отличия от более современных телескопов (>6м)

- “Толстое” параболическое зеркало F/4:
 - нет активной оптики
 - ветровые нагрузки на длинную трубу
 - медленное перенаведение
 - проблема перепада температур зеркало-атмосфера
 - проблема подкупольного (узкое забрало)
-
- наблюдения слабых протяженных объектов – в ПФ
 - ограничения на размер навесной аппаратуры (надо влезть в “стакан”)
 - частая смена аппаратуры в ПФ

Проблемы организационно-технические

- На одну программу КТБТ НКТРТ выделяет только 3-7 ночей в полугодие
- Узкая специализация приборов в прямом фокусе (в 1999 г – 9 навесных приборов!)

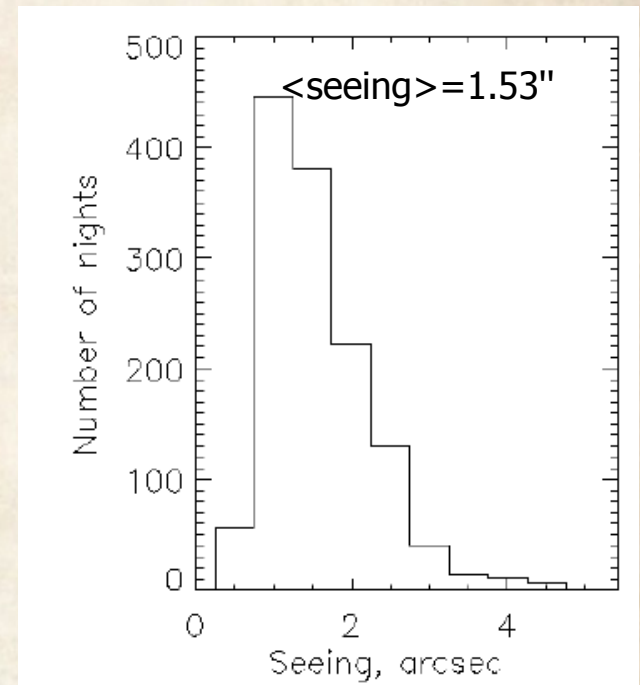
Наши метеоусловия:

40-45% ясных ночей

Средний размер звездных изображений 1.5-1.6"

(Панчук, Афанасьев, 2011, АБюлл, 66, 253

"Астроклимат Северного Кавказа - мифы и реальность")



Астроклимат

Отчет директора на КТБТ

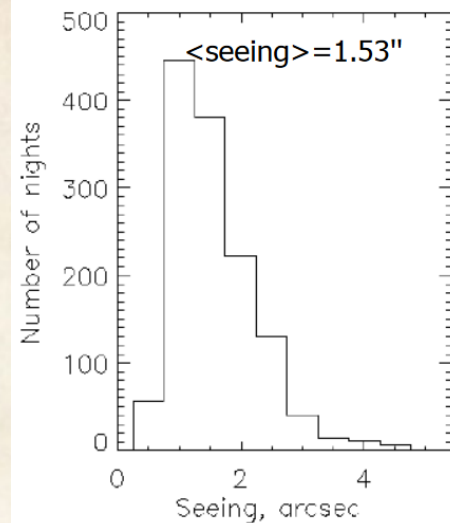
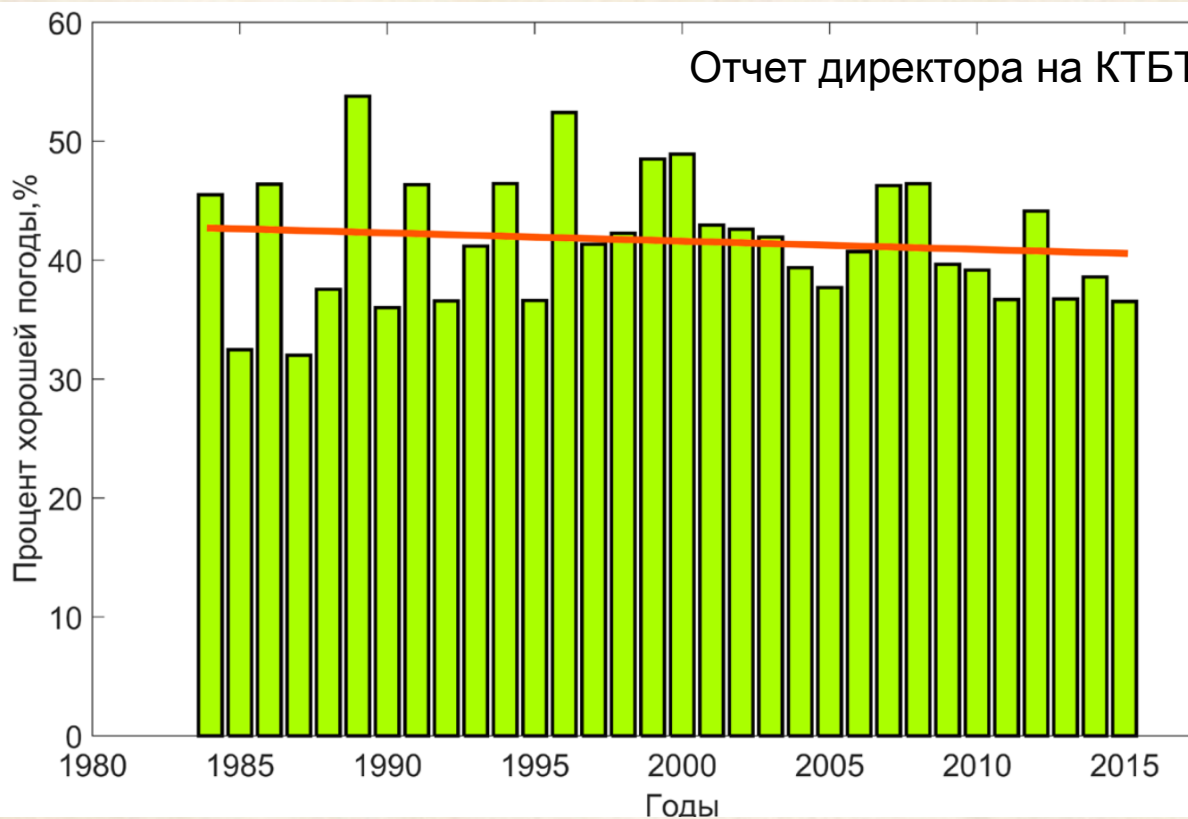


Table 4. Monthly average fraction of clear nights at Maidanak in [1979-1985] (Gladyshev & Shirokova 1987) and of photometric nights at La Silla and Paranal during the period [1983-1997] (Sarazin 1997b)

Month	Maidanak	La Silla	Paranal
January	31	73	77
February	54	79	84
March	42	76	83
April	47	63	79
May	44	40	70
June	79	34	70
July	92	42	75
August	81	48	73
September	84	54	85
October	55	57	83
November	42	67	84
December	46	69	77
Total	58	59	78

(Панчук, Афанасьев, 2011, АБюлл, 66, 253
"Астроклимат Северного Кавказа - мифы и реальность")

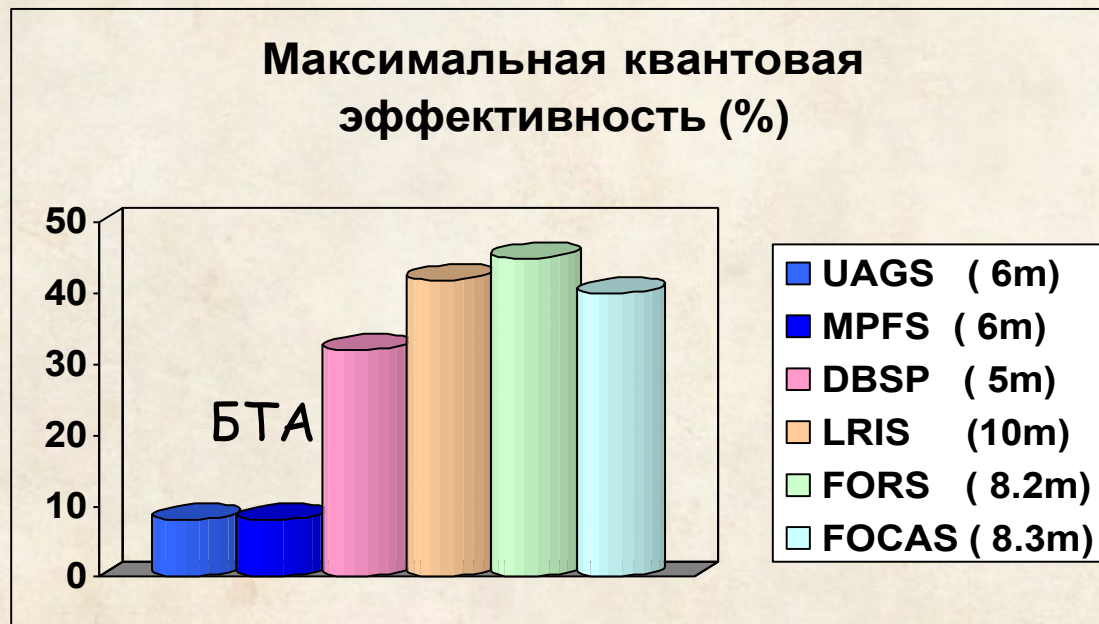
БТА — прежде всего, спектральный инструмент!

А что же мы имели в САО к 2000 году?

- 1) ПЗС – фотометр: изображения в поле $3.5 \times 3.5'$
- 2) Мультиобъектный спектрограф MOFS: одновременная спектроскопия 75 объектов в поле $15'$
- 3) Мультизрачковый спектрограф MPFS: спектры поля $16'' \times 16''$
- 4) Спектрограф UAGS: спектры со щелью длиной $2'$
- 5) Спектрограф умеренного разрешения в Несмит-1: СП-124, позже перестроенный в «Краб»
- 6) Сканирующий Интерферометр Фабри-Перо: панорамная спектроскопия в узком спектральном интервале

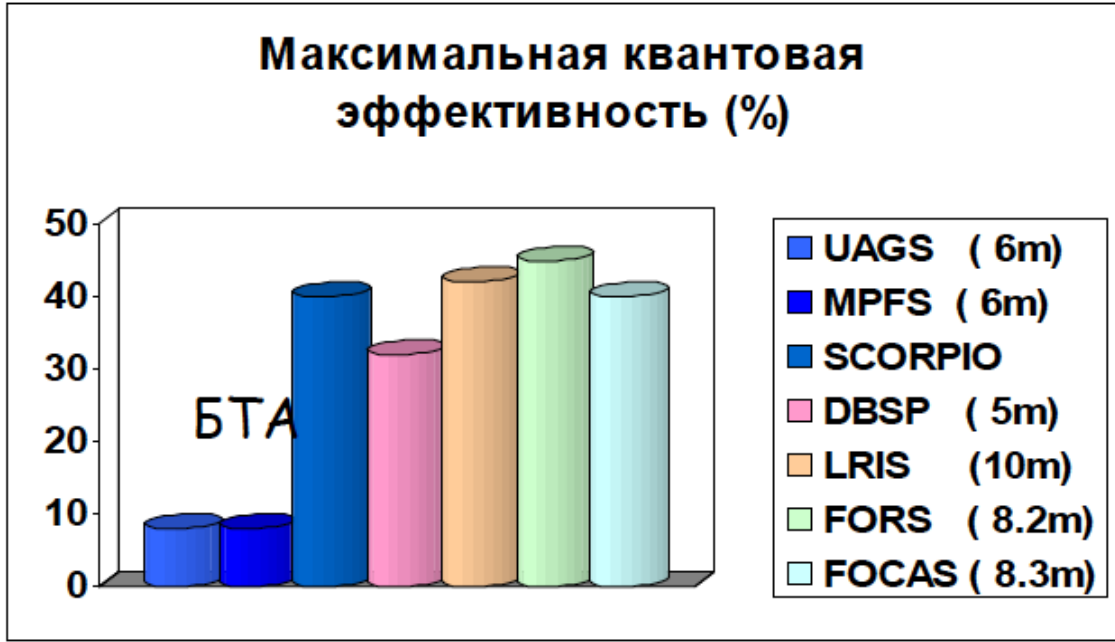
Недостатки прежних спектрографов низкого разрешения

- потери света на входной щели (колебания монтировки, малая светосила камер)
- потери на пропускании оптики спектрографа (отсутствие AR-покрытий, центральное виньетирование зеркально-линзовых камер)
- потери на чувствительности детектора
- отсутствие современных VPH-решеток



Недостатки прежних спектрографов низкого разрешения

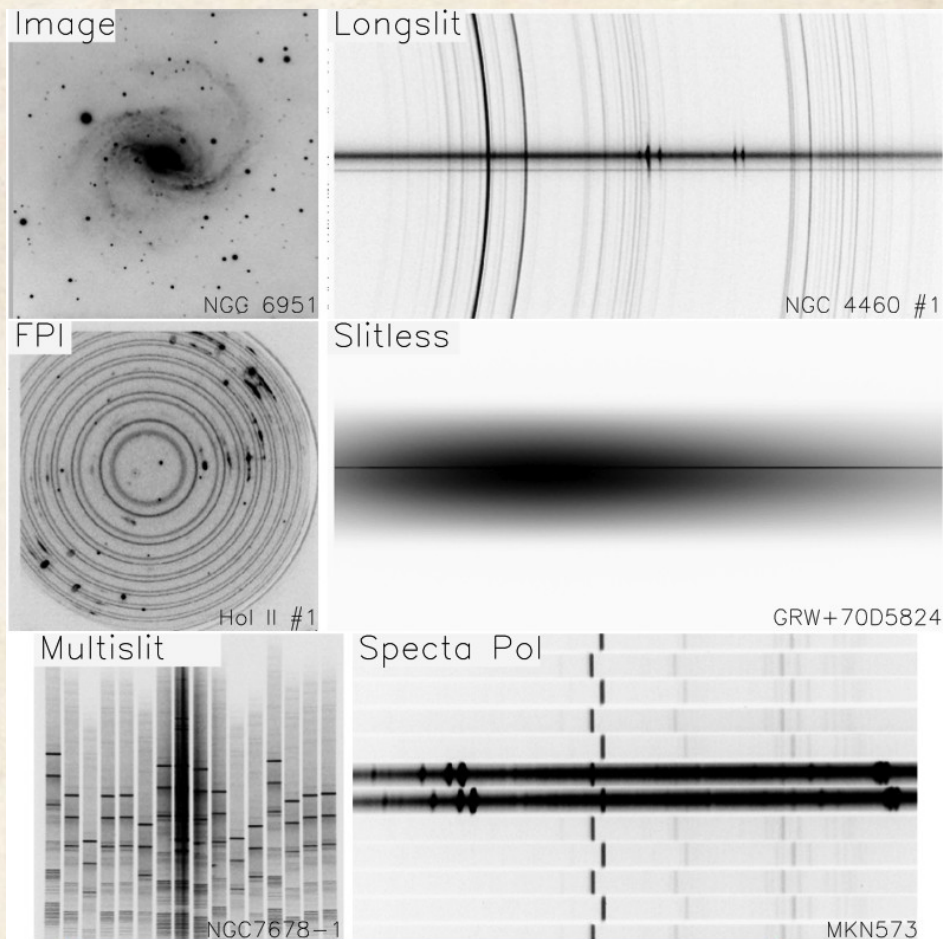
- потери света на входной щели (колебания монтировки, малая светосила камер)
- потери на пропускании оптики спектрографа (отсутствие AR-покрытий, центральное виньетирование зеркально-линзовых камер)
- потери на чувствительности детектора
- отсутствие современных VPH-решеток



SCORPIO-1

В поле зрения 6'x6':

- Изображения в фильтрах
- длиннощелевая спектроскопия (R=500-2900)
- бесщелевая спектроскопия
- 3D спектроскопия с ИФП
- Многообъектная спектроскопия (16 щелей в поле 6'x3')
- спектрополяриметрия



Многорежимность:

- выбор наблюдений, адекватных атмосферным условиям
- много времени на телескопе (до 50-55% всех ночей)

SCORPIO: оптическая схема

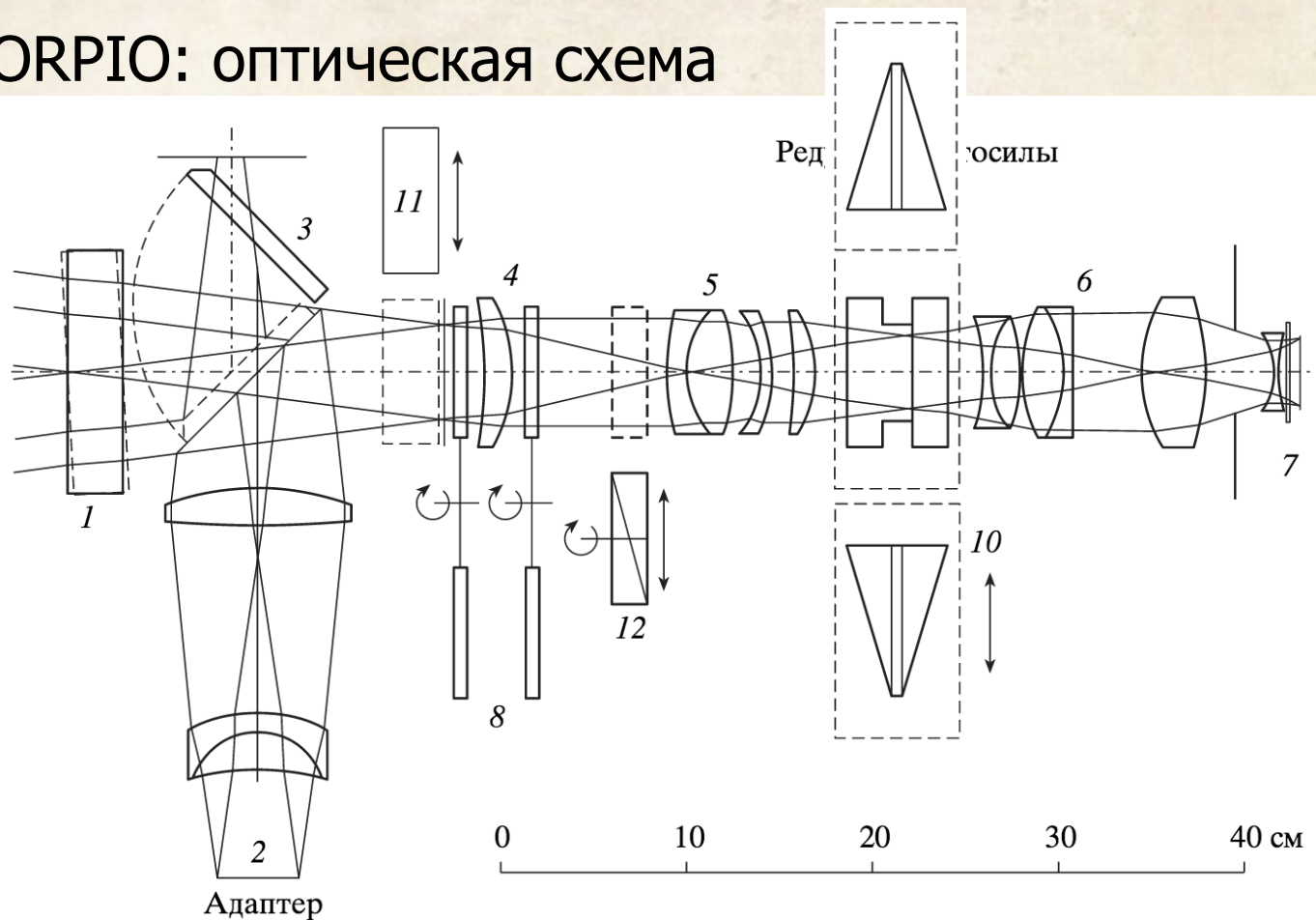


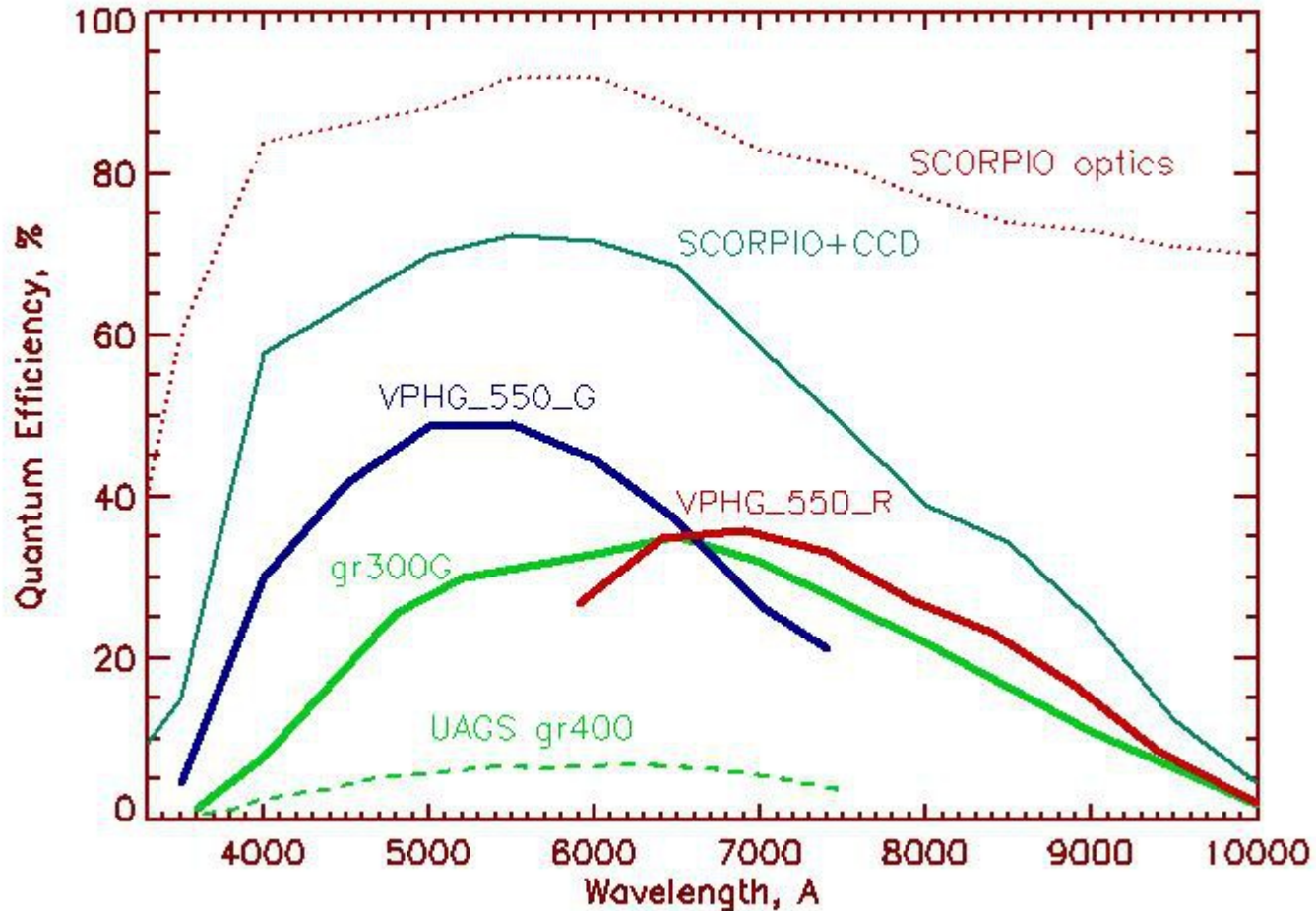
Рис. 1. Оптическая схема SCORPIO: 1 — наклоняемая пластина, 2 — оптика калибровки, 3 — плоское зеркало, 4 — полевая линза, 5 — коллиматор, 6 — камера, 7 — ПЗС, 8 — турели светофильтров, 9 — ИФП, 10 — гризлы прямого зрения, 11 — многощелевой блок, 12 — анализатор поляризации.

Турели на 6 позиций (реально занимаем 5)

- Турель 1- длинная щель (1" — позиция 3), интерференционные фильтры
- Турель 2: 4 стеклянных фильтра (BVRI) и маска для бесщелевых спектров

Квантовая эффективность SCORPIO в спектральном режиме

Идеальный случай - бесщелевая спектроскопия



История создания SCORPIO-1/2

- 1999. Армяно-Российско-Китайский проект – редуктор фокуса для среднеполосной фотометрии на 2.6 м телескопе, идея «клона» для CAO
- В.Л. Афанасьев: «Проект SCORPIO” (техсовет, осень 1999 г.)
- Первые наблюдения в сентябре 2000 г.: хорошее качество звезд по полю, но спектры хорошо снимать только в центре поле зрения (проблема первоначального расчета оптики).
- 2003 г. Изготовление многощелевой приставки (мультислит).

Замена оптики – проблема остаточного астигматизма изображений, но значительно лучше спектральный режим

- 2004 г. Изготовление и испытание поляризационного блока
- 2007 г. – первые научные наблюдения со SCORPIO в удаленном режиме (гравлинза «Космическая подкова»)
- 2010 г. - первый свет SCORPIO-2
- 2019 г. - восстановление и модернизация старого SCORPIO (теперь это SCORPIO-1)

Рабочая группа SCORPIO (-1):

Афанасьев В.Л. - научный руководитель, расчет оптики

Веретенев В.В. - сборка механики

Гажур Э.Б. - конструирование

Додонов С.Н. - среднеполосные фильтры

Желенков С.Р. - блоки управления на микропроцессорах

Моисеев А.В. - руководитель проекта, программы управления

Перепелицын Е.И. - изготовление оптики

Фатеев В.И. - электро-силовая часть

Сам по себе прибор – это мало, нужно разработать методику наблюдений, и здесь потрудились многие сотрудники САО РАН.

На уровне обработки можно добиться много, но плохой методикой можно испортить вообще все.

Описание приборов: SCORPIO-1

Краткое:

1 2005AstL...31..194A 2005/03 cited: 383

The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope
Afanasiev, V. L.; Moiseev, A. V.

Подробное:

Bull. Spec. Astrophys. Obs., 58, 2005, 90-116

© Special Astrophysical Observatory of the Russian AS, 2005

SCORPIO: prime focus reducer of the BTA

Afanasiev V.L., Gazhur E.B., Zhelenkov S.R., Moiseev A.V.

<https://www.sao.ru/hq/lsvfo/devices/scorpio/scorpio.html>

SCORPIO



Main Page
Adapter
Parameters
Optics
Filters
Multislit
Grisms
Fabry-Perot
Gallery
References

SCORPIO-1=Spectral Camera with Optical Reducer for Photometrical and Interferometrical Observations



SCORPIO-1 is a multi-mode focal reducer of the BTA. It is used for observations of star-like and extended objects in following observational modes at the prime focus (F/4) of the 6m telescope:

- Broad-, medium- and narrow-band direct imaging
- Long-slit spectroscopy
- Slitless spectroscopy
- Multi-slit spectroscopy with 16 movable slits*

The device consists of the Focal Reducer (F/2.6) and of the prime focus Adapter (with auto-guiding system and lamps for flat-field and wavelength calibration).

*Under restoration

Описание приборов: SCORPIO-2

Краткое:

4 2011BaltA..20..363A

2011/08

cited: 170



Scorpio on the 6 m Telescope: Current State and Perspectives for Spectroscopy of Galactic and Extragalactic Objects

Afanasiev, V. L.; Moiseev, A. V.

Платформа: Afanasiev et al., 2017 Astrophysical Bulletin, 72, 458

Поляриметрия: Afanasiev & Amirkhanyan, 2012 Astrophysical Bulletin, 67, 438

IFU: Afanasiev, Egorov, Perepelitsyn , 2018, Astrophysical Bulletin, 73, 373

Фабри-Перо: Moiseev, 2015, Astrophysical Bulletin, 70, 494

Система управления: Перепелицын и др., 2020, Труды ИПА, 53, 44

https://www.sao.ru/hq/lsvfvo/devices/scorpio-2/index_rus.html



SCORPIO-2

Spectral Camera with Optical Reducer for Photometric and Interferometric Observations -2

Switch to ENG

Главная
Описание

Фокальный редуктор с ИФП

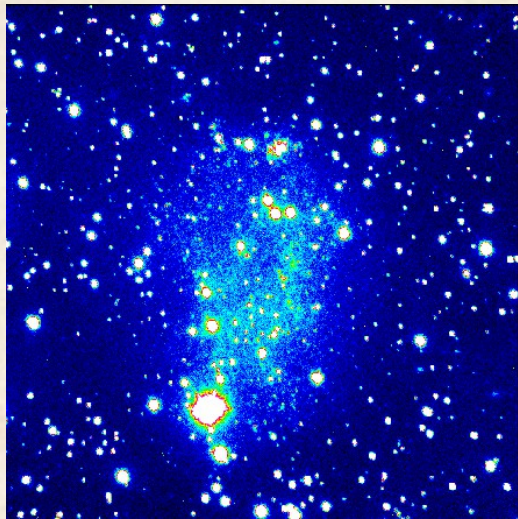
БЫЛО:

- фотообъективы, низкое пропускание оптики ($\max QE = 30\%$)
- Ручная смена фильтров
- Практически невозможно (очень неудобно и сложно) использовать редуктор для прямых снимков

СТАЛО со SCORPIO:

- Пропускание увеличилось более чем в 2 раза
- 4 позиции для узкополосных интерференционных фильтров.
- Стали наблюдать объекты в более слабых, но интересных эмиссионных линиях ([SII])

ПЗС – фотометр прямого фокуса

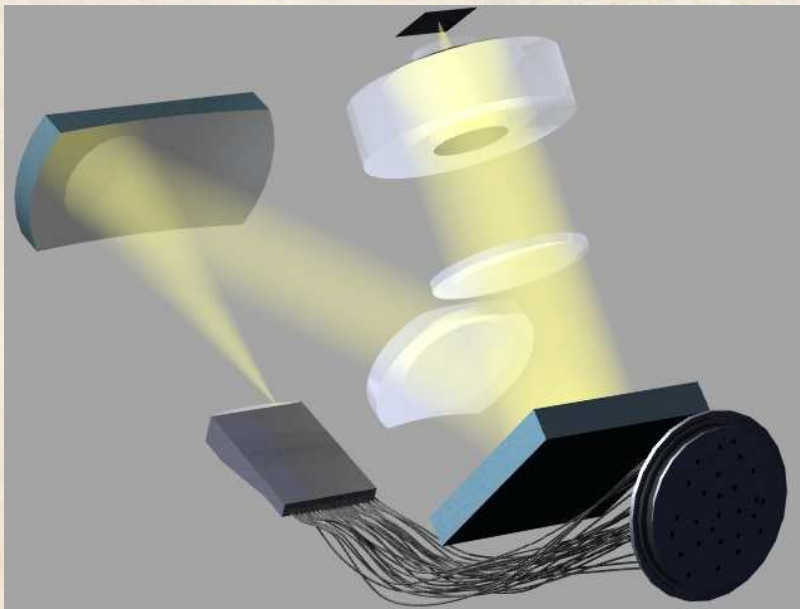


БЫЛО:

- Поле зрения до 3.5'
- Отсутствие гидирования
- BVRI+На фильтры

СТАЛО со SCORPIO:

- С той же ПЗС поле зрения больше в 1.5 раза
- Больше оптики – больше бликов на очень ярких звездах
- Сложнее «плоское поле»
- Требования на фокусировку по полю
- Лучше для узко- и средне-полосной фотометрии (гид+ большой набор фильтров)



Мультиобъектный волоконный спектрограф MOFS

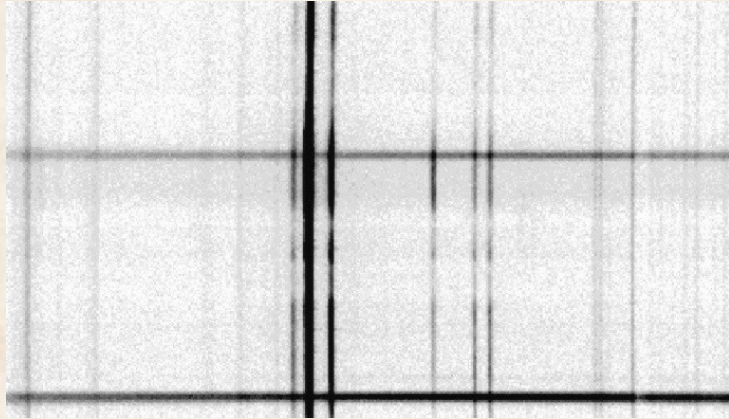
СТАЛО со SCORPIO:

- Квантовая эффективность возросла в 5-8 раз
- Предельная звездная величина та же, что и в режиме длинной щели
- Но всего 16 щелей в меньшем поле зрения $3 \times 6'$
- Оперативная расстановка щелей, вычитание фона

БЫЛО:

- До 75 объектов в поле зрения $15'$
- 21 зв. величина – практический предел (проблема фона неба)
- Невозможно оперативно сменить программу наблюдений, большая работа по подготовке масок

Светосильный спектрограф прямого фокуса (UAGS)



СТАЛО со SCORPIO:

- Квантовая эффективность возросла в 5-10 раз (для бесщелевого режима)
- Потери света на более узкой нормальной щели (0.7-1.0"),
- Смена диапазона – только сменой призмы
- Почти нет виньетирования, меньше рассеянный свет
- Анализатор – за щелью (что лучше)
- Точная локализация щели
- Щель в 3 раза длиннее

БЫЛО:

- $\max QE = 5-8\%$
- Нормальная ширина щели 2" + возможность изменения
- Легко менять спектральный диапазон на одной решетке
- Сильное виньетирования на вторичном зеркале
- Анализатор поляризации – перед щелью

Спектрофотометрический комплекс СП-124

БЫЛО:

- $\max QE = 1-5\%$ (?)
- Короткая щель (40") + вращение поля зрения
- Легко менять спектральный диапазон на трех (!) решетках
- Простая и понятная система управления
- После модернизации в спектрограф «Краб» - $\max QE = 18\%$ (?), выросло спектральное разрешение, но за много лет – ни одной законченной работы

СТАЛО со SCORPIO:

- ┌ Квантовая эффективность возросла в 2-10 раз (для бесщелевого режима)
- ┌ Потери света на более узкой нормальной щели (0.7-1.0"),
- ┌ Смена диапазона – только сменой призмы (надо ехать на АП)
- ┌ Почти нет виньетирования, меньше рассеянный свет
- ┌ Анализатор поляризации
- ┌ Точная локализация щели

Вечная проблема "универсальности"



Плюсы и минусы многорежимности

+ Гибкость в выборе наблюдательных программ

- Несмотря на высокую степень автоматизации, качество получаемого материала зависит от опыта наблюдателя.
- Ряд компромиссных решений в оптической схеме:
 - ограничение диаметра коллимированного пучка (40 мм) для работы со сканирующим ИФП в выходном зрачке
 - не оптимальная широкощельность

Первопричины основных проблем SCORPIO-(1)

1 .Технические реалии:

- Механика – компромисс между тем, что необходимо и тем что можно изготовить в САОвских мастерских (или купить за разумные деньги).
- Многие хорошие идеи пришли позже (всего одна позиция для дисперсера, поляризационный блок)

2. Проблемы светосильной оптики:

почти нигде в мире на больших телескопах нет пучка F/4 для которого нужны сверхсветосильные камеры. А чем выше светосила – тем сложнее построить безабберационную систему.

SCORPIO-2: принципиальные изменения

- С тем же разрешением — в 2 раза больше спектральный диапазон (оптика + детектор)
- Больше решеток и фильтров (включая SDSS ugriz)
- IFU 22x22 элемента
- Повышенная «красная» чувствительность ПЗС



Table 1. Comparison of the 6-m telescope old and new facilities

	SCORPIO	SCORPIO-2
Detector	EEV 42-40, 2K × 2K	E2V 42-90, 2K × 4.6K
Direct imaging:		
Max. filters positions	10 (in two wheels)	27 (in three wheels)
Field-of-view	6.1 arcmin	6.1 arcmin
Long-slit spectroscopy	set of slits with fixed width (0.5 – 2''); single VPHG position	variable slit width (0 – 20''); wheel with 9 grating holders
FPI	Common carriage with grating holder	independent holder
Multi-slit unit	16 slits in 6 × 3 arcmin field-of-view	16 slits in 6 × 4 arcmin field-of-view
Integral-field unit	–	24 × 24 lenslet, 0.75''/lens
Polarymetry	Savar plates, rotated in two positions	Single and double Wollaston prisms; apochromatic phase plates $\lambda/2$, $\lambda/4$; rotated analyser

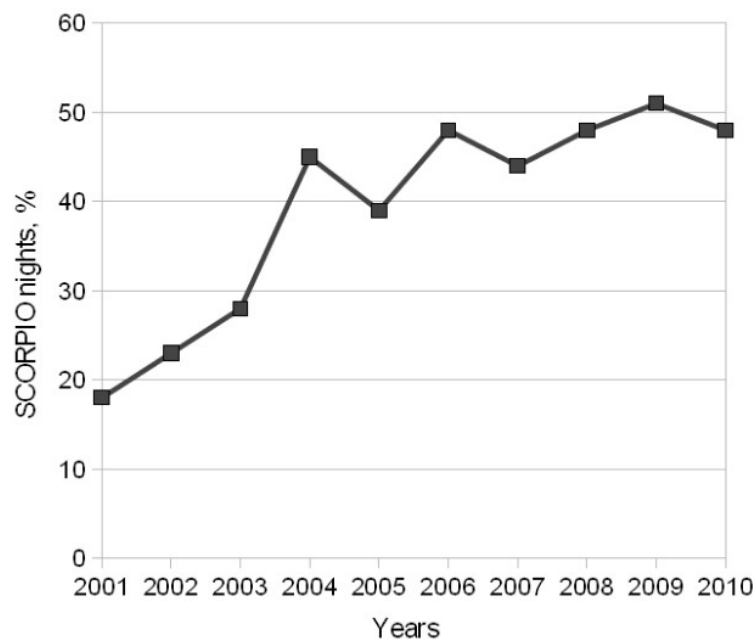
2010 г. – «первый свет»

2013 г. – начало официальной пробной эксплуатации на БТА

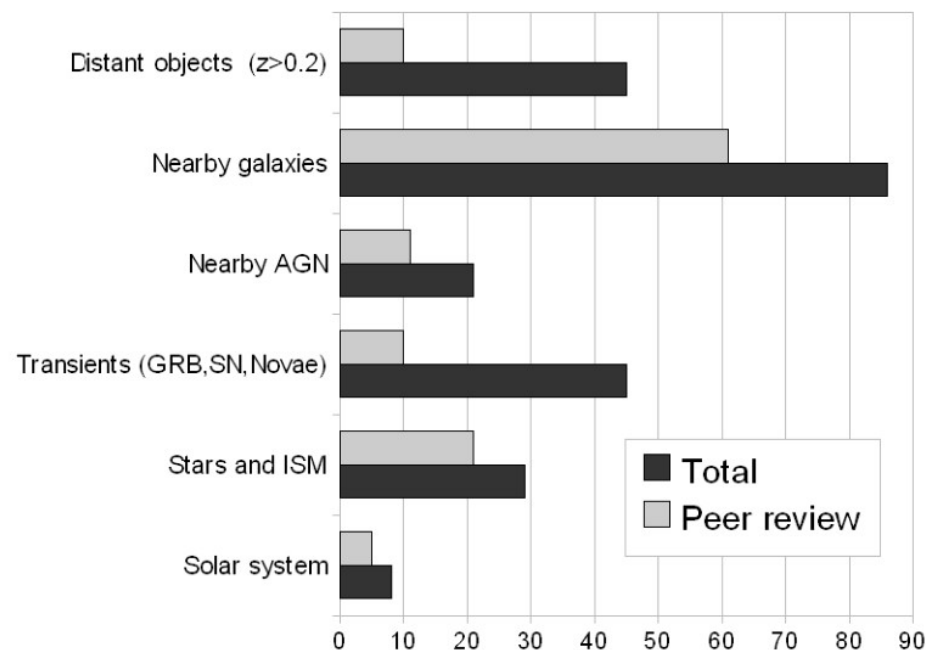
2020 г. - включение в циркулярное письмо НКТРТ

SCORPIO/SCORPIO-2 на БТА

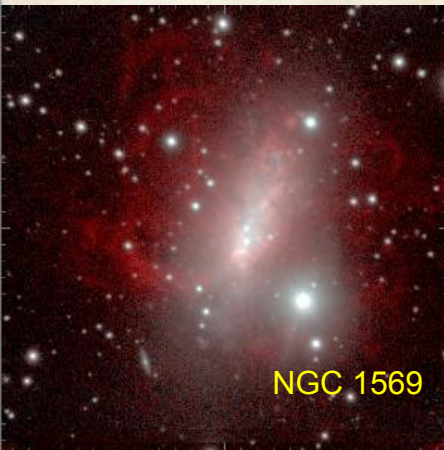
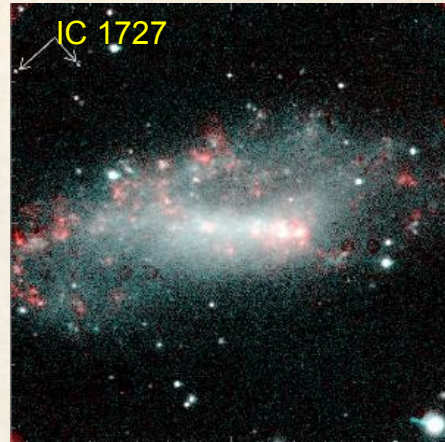
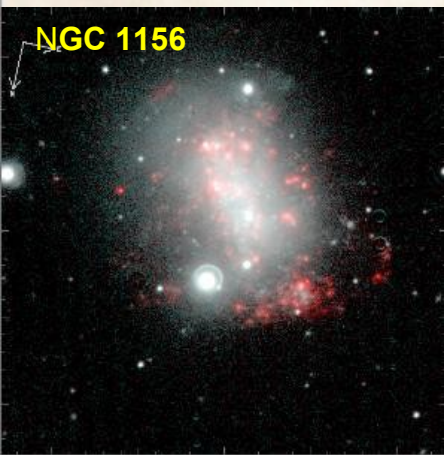
- гибкое использование наблюдательного времени, выбор оптимального для текущей погоды режима
- Многократно выросла эффективность спектральных наблюдений (низкое разрешение)
→ до 50-60 % всего наблюдательного времени БТА (солнечная система, звезды, галактики)



Afanasiev & Moiseev 2011

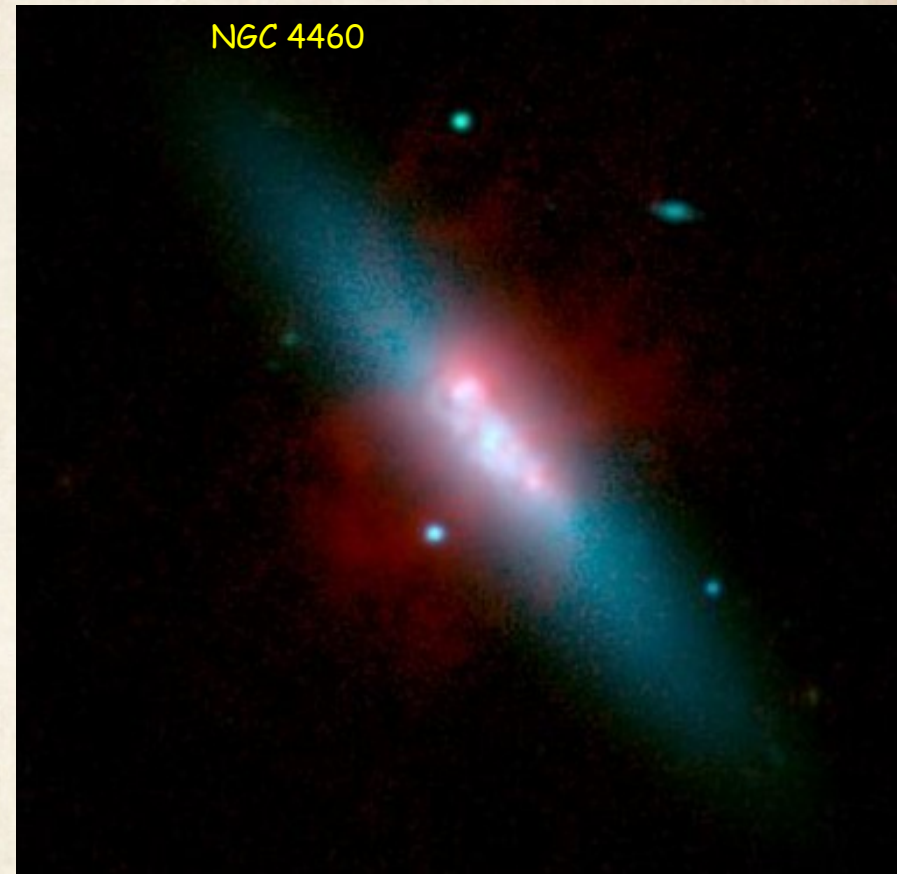


H-альфа обзор близких галактик



На изображения 161 галактики (37% всех данных для локального объема $D < 10$ Мpc):

- Темп звездообразования
- Время исчерпания газа

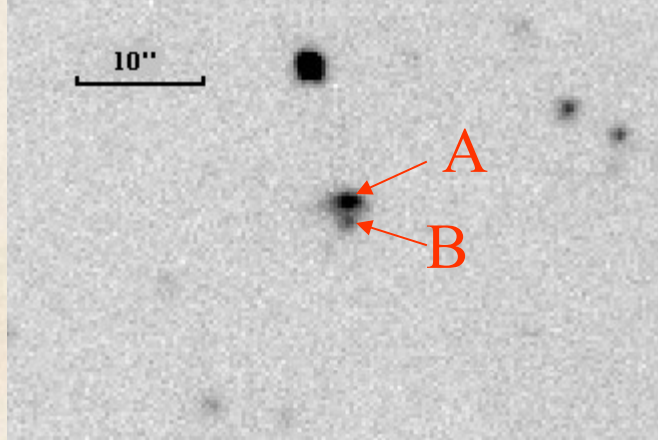


The total SFR density in the Local Universe ($z=0$):
(0.019 ± 0.003) Mo/yr/Mpc^3
(Karachentsev & Kaisin, 2010, AJ)

Superwind in NGC 4460: whereas gas in the circumnuclear disc is photoionized by radiation of young stars, the external regions of the H α nebulosity are ionized by shocks.
 $V \geq 130$ km/s, SFR ~ 0.3 Mo/yr (Moiseev et al., 2010)

Спектроскопия слабых объектов

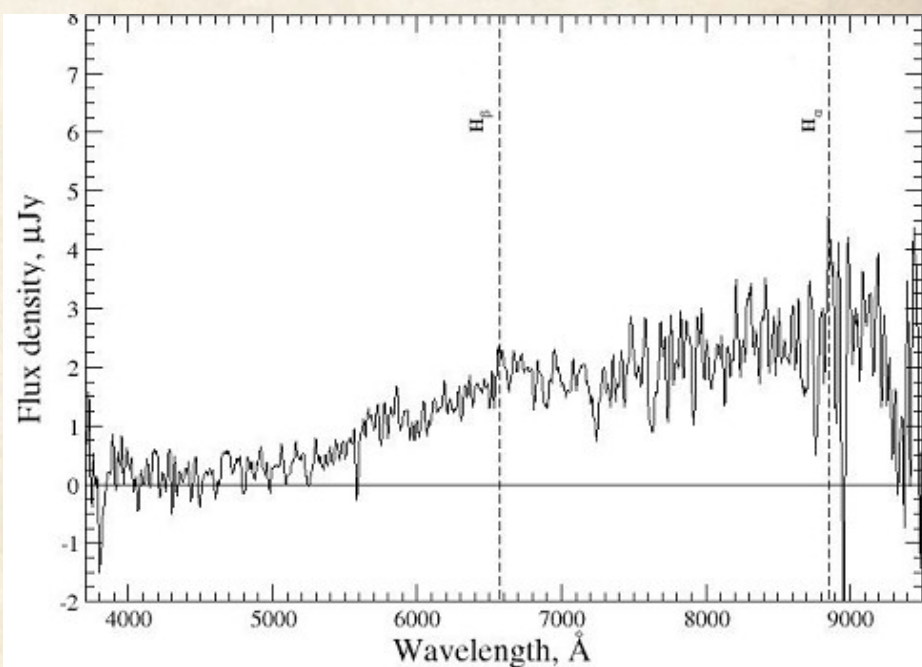
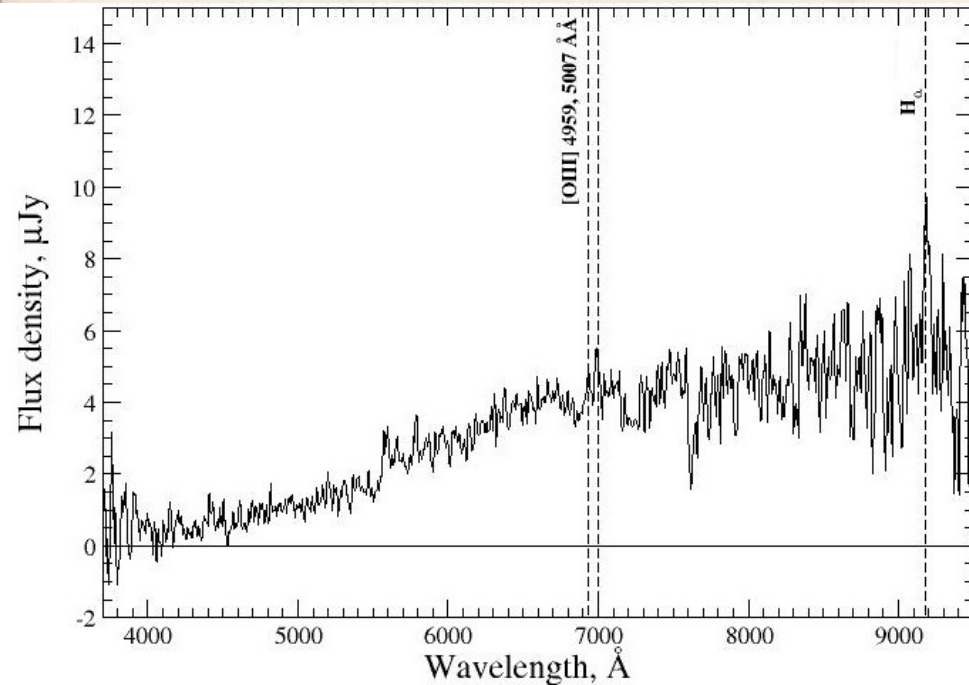
Изображение в фильтре R_C $T_{\text{exp}}=180$ s, seeing=1.3"



Спектроскопия вероятной родительской галактики «темного» гамма-всплеска GRB001109: $T_{\text{exp}}=7200$ s
(Фатхуллин, 2003)

Объект А: $R_C=22.5^m$, $z=0.40$

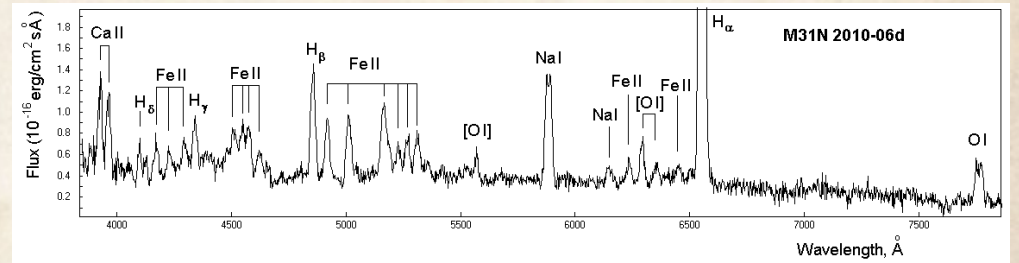
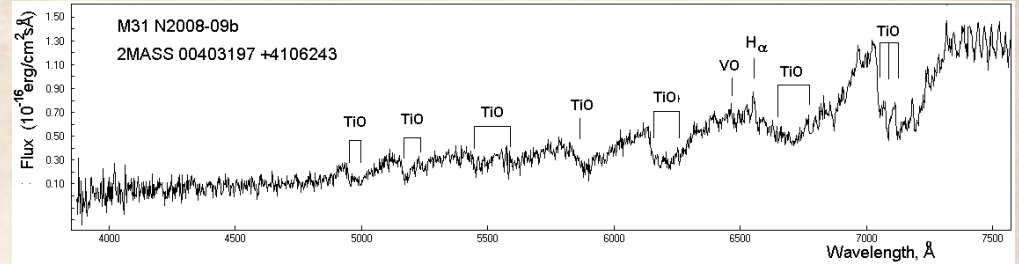
Объект В: $R_C=23.4^m$, $z=0.34$



Спектроскопия транзientных объектов

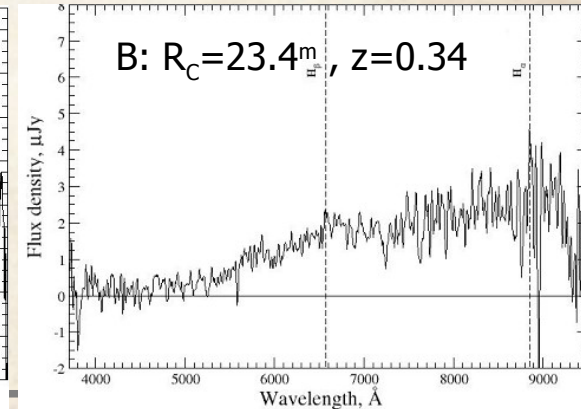
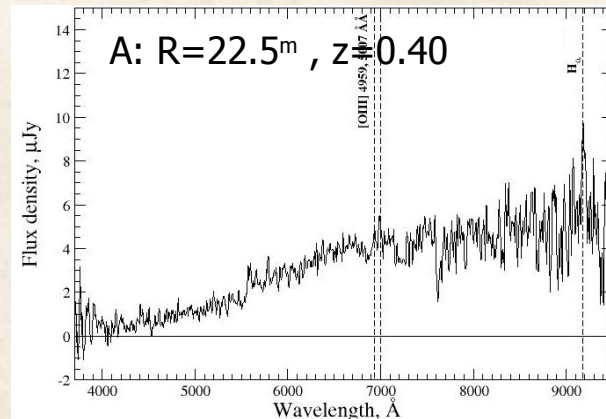
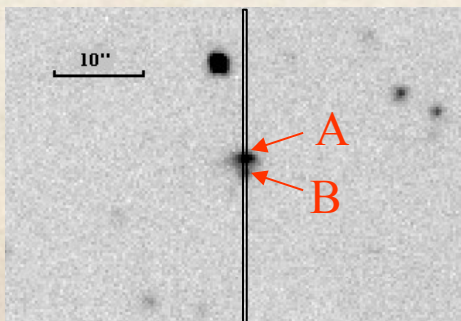
Novae in M31

(Pietsch et al., Barsukova et al . 2007-2011)

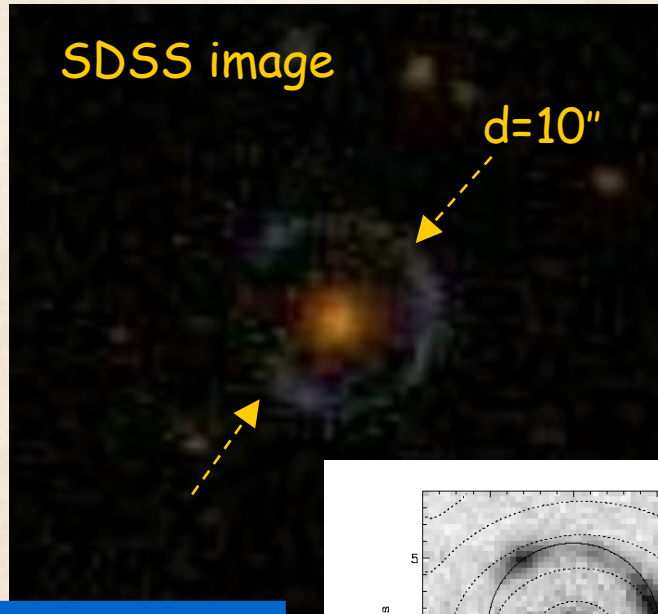


Distant supernovae associated with gamma-ray bursts, GRB host galaxies:
 Moskvitin et al. (2010)
 Roy et al. (2011)
 Castro-Terado (2008)

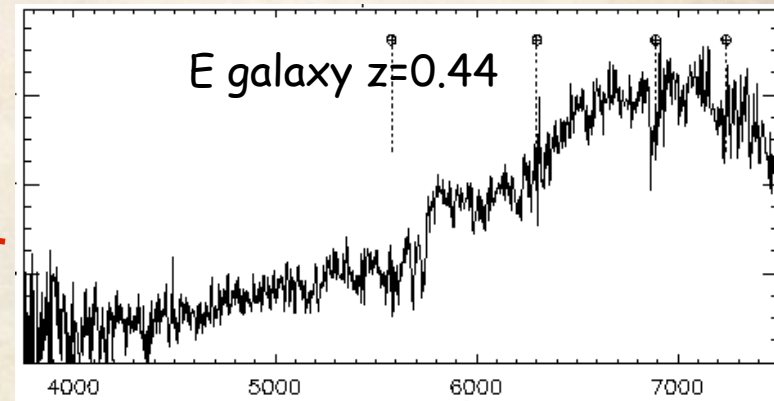
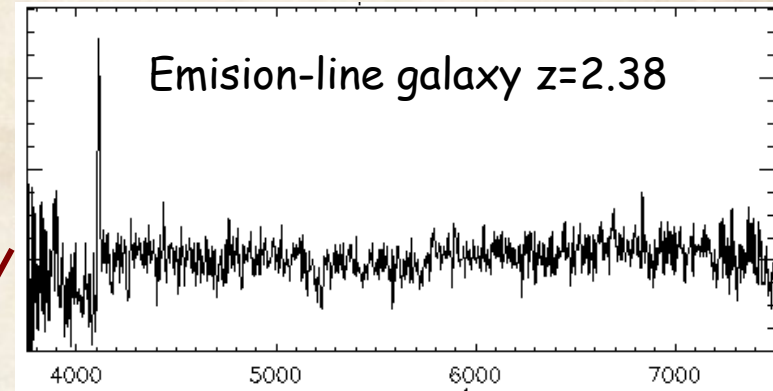
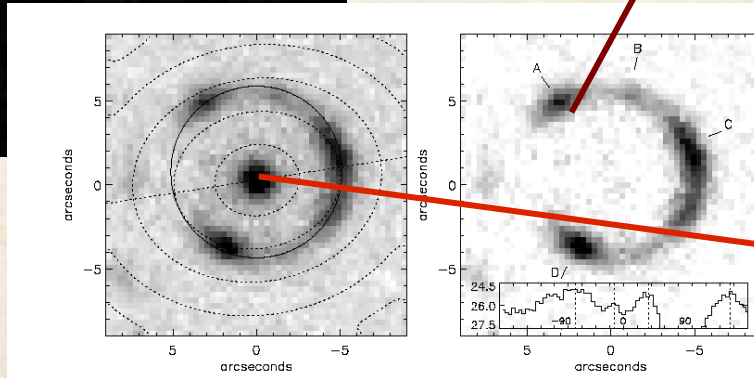
Host galaxy of the 'dark' GRB001109: ($T_{exp}=2h$, *Fatkhullin, 2003*)



Гравлинза «Космическая подкова»



INT image:

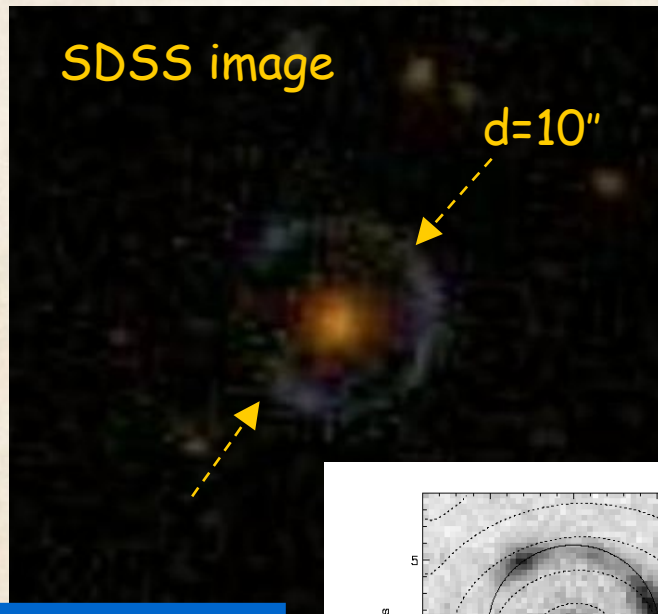


Проведенная на БТА спектроскопия показала, что обнаруженный в обзоре SDSS гравитационная линза обладает уникальными характеристиками:

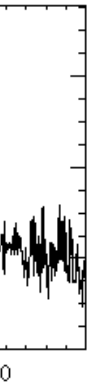
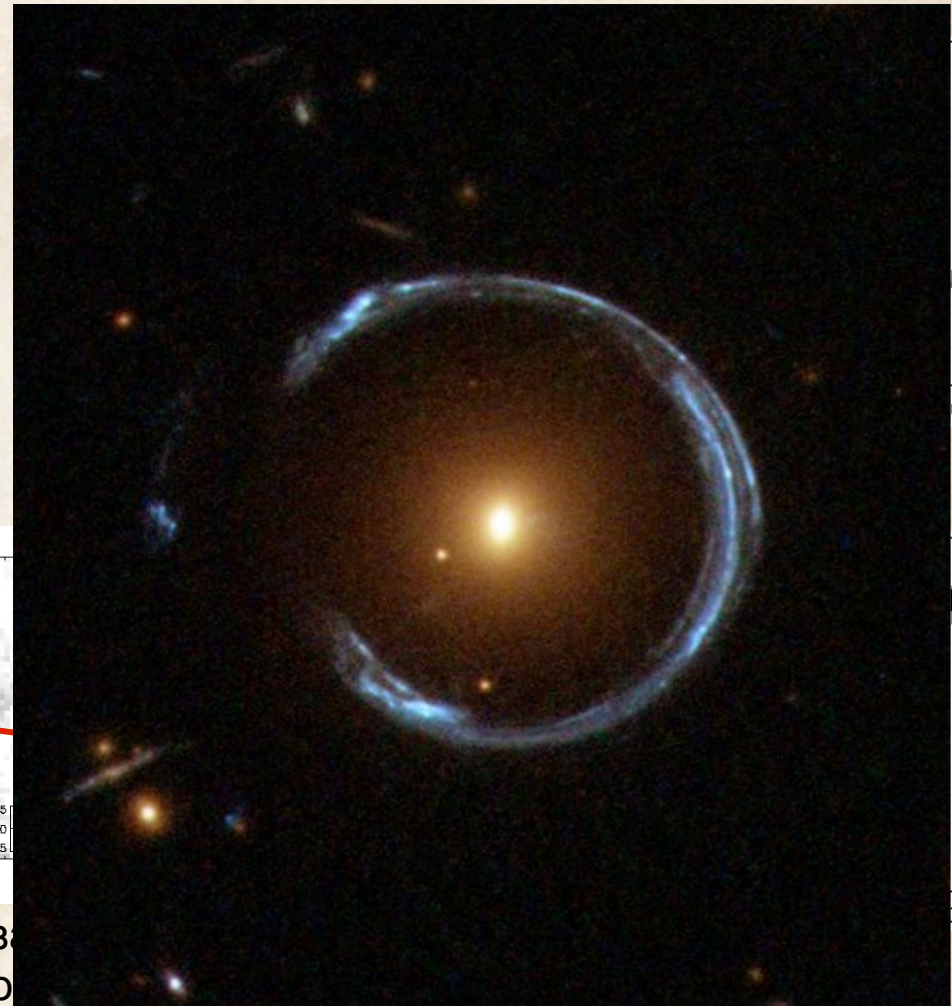
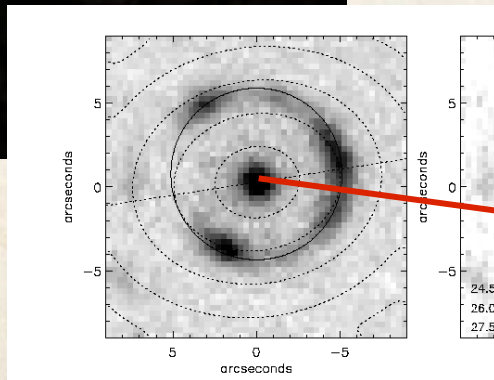
диаметр кольца Эйнштейна: $10''$
фактор усиления: 35-50 раз

Belokurov et al (2007)

Гравлинза «Космическая подкова»



INT image:

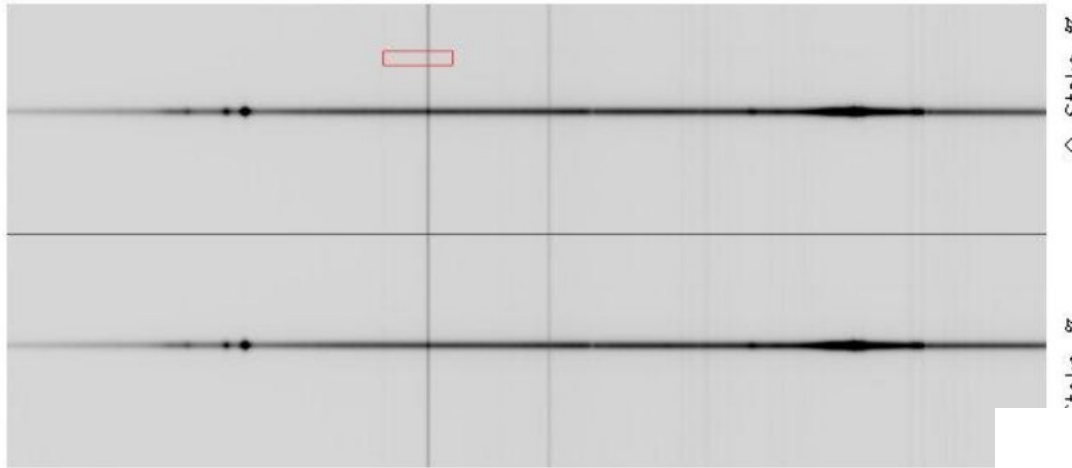


Проведенная на БТА спектроскопия показала обнаруженный в обзоре SDSS гравитационный линзированный объект обладает уникальными характеристиками:

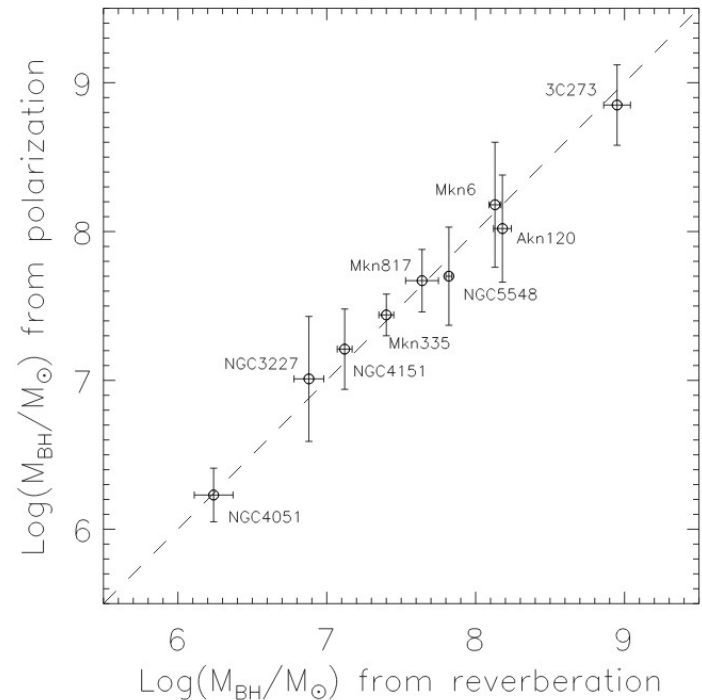
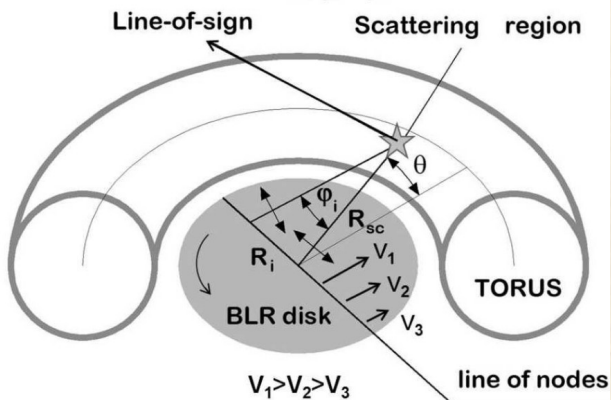
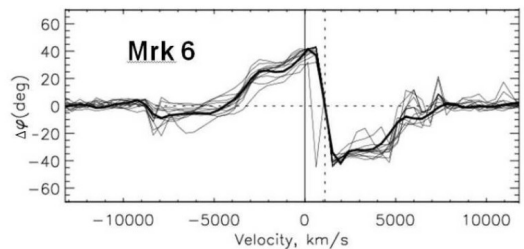
диаметр кольца Эйнштейна: $10''$
фактор усиления: 35-50 раз

Belokurov et al (2007)

Спектрополяриметрия AGN: измерения масс ЧД

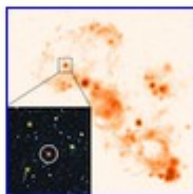


Новый метод измерения масс черных дыр в ядрах галактик:
 Afanasiev et al 2014
 Afanasive & Popovic 2015

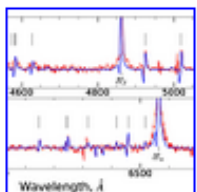


Рубрика “Что нового в нашей Вселенной?”: 37/76

2022 г.



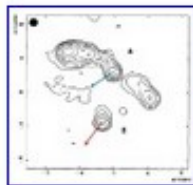
Открытие необычной обогащенной азотом массивной звезды в бедной тяжелыми элементами карликовой галактике. [Подробнее...](#)



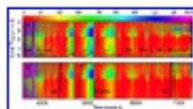
Яркие голубые переменные (Luminous Blue Variables, LBVs) представляют собой малочисленный тип массивных звезд, обладающих высокой светимостью и сильной фотометрической и спектральной переменностью. Прояснение природы LBV и уточнение их эволюционного статуса требует существенного расширения выборки известных и детально исследованных звезд этого типа. [Подробнее...](#)



Сейчас уже нет сомнений в том, что активность галактических ядер связана с центральной сверхмассивной черной дырой. Захваченное черной дырой вещество образуют вращающийся аккреционный диск. [Подробнее...](#)



Гравитационные линзы, известные за образование кратных изображений далеких объектов (галактик и квазаров), в современной астрофизике часто используются для диагностики крупномасштабного распределения вещества во Вселенной. Однако исследование самих линзированных изображений позволяет более детально рассмотреть структуру центрального парсека активных ядер, пространственно неразрешимых с помощью прямых оптических методов. [Подробнее...](#)



Распад кометных ядер является довольно редким явлением. За последние 150 лет наблюдалось всего 40 таких событий. Частичная фрагментация кометного ядра или его полный распад позволяет изучить процесс как потери массы, так и внутреннее строение и состав ядра. [Подробнее...](#)



Результат = прибор
+ методика наблюдений
+ методика обработки

IC 1613
SCORPIO
Zeiss-1000

Литература

- 1) Афанасьев В.Л., Моисеев А.В., 2005, ПАЖ, т. 31, с. 214
- 2) Afanasiev V.L., Gazhur E.B., Zhelenkov S.R., Moiseev A.V., 2005, Bull.SAO, v. 58, p. 90
«SCORPIO: руководство пользователя», на его веб-страничке (там же и статьи): <https://www.sao.ru/hq/ion/SCORPIO/scorpio.html>
- 1) Afanasiev V.L., Moiseev A.V., 2011, Baltic Astronomy, 20, 363
- 2) Щеглов П.В. «Проблемы оптической астрономии», Москва, «Наука», 1980

Сами лекции будут обновляться на моей личной странице, прежние версии есть там же и на youtube:

<https://www.sao.ru/hq/moisav/>

Лекции для аспирантов САО РАН.

"Многорезимный фокальный редуктор телескопа БТА" (2016/2020 гг.)

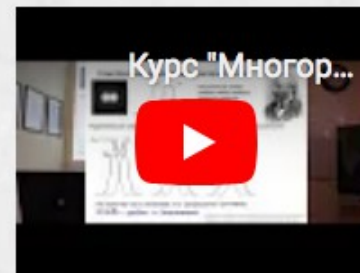
Лекция 1: [презентация в PDF](#)

Введение. Основные понятия. Редуктор светосилы на большом телескопе. Семейство многорезимных "камер слабых объектов". Спектроскопия низкого разрешения на 6-м телескопе. SCORPIO (SCORPIO-1) и SCORPIO-2.



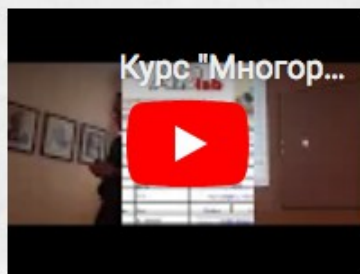
Лекция 2: [презентация в PDF](#)

Спектральное разрешение. Теория астрономического спектрографа. Согласование оптики телескопа и спектрографа. Дискретизация. Атмосферная дисперсия. Неравномерная засветка щели. Объемно-фазовые голографические решетки.



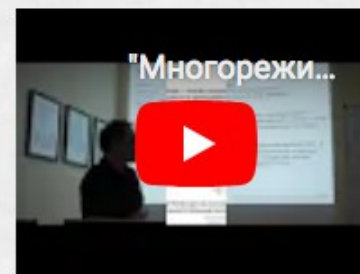
Лекция 3: [презентация в PDF](#)

ПЗС-детектор. Статистика отсчетов. Калибровки спектров низкого разрешения. Плоское поле. Телецентризм. Геометрическая коррекция.



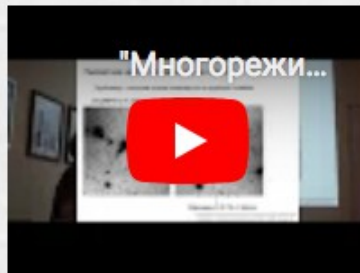
Лекция 4: [презентация в PDF](#)

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



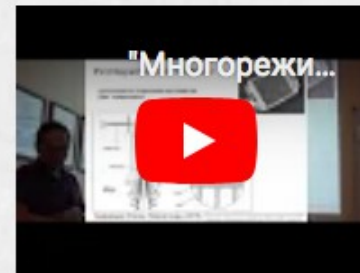
Лекция 5: [презентация в PDF](#)

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



Лекция 6: [презентация в PDF](#)

3D-спектроскопия на SCORPIO-2. Блок IFU. Сканирующий интерферометр Фабри-Перо.



Литература