

Проблемы SCORPIO.

Лекция I.

История проекта, мифы и реальность

Моисеев А.В.

*Специальная астрофизическая
обсерватория РАН*

Spectral Camera with Optical Reducer for Photometric and Interferometric Observations



Реализация в первичном фокусе 6-м телескопа следующих видов наблюдений протяженных и звездообразных объектов:

1. ПЗС-фотометрия в широко-, средне- и узкополосных фильтрах..
2. Панорамная спектроскопия с интерферометром Фабри-Перо.
3. Спектроскопия с "длинной щелью".
4. Бесщелевая спектроскопия.
5. Многообъектная спектроскопия с 16 щелями
6. Спектрополяриметрия
7. Поляриметрия в фильтрах (?)

Миф I, или
"SCORPIO - как принципиально новый прибор"

А в реальности:

"ДА" - для САО

"НЕТ" - в мировой практике:

- идея фокального редуктора - 60 гг.
- "мода" на многорежимные редукторы - 80-90 гг.

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...

(Куртес, 1994)

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

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

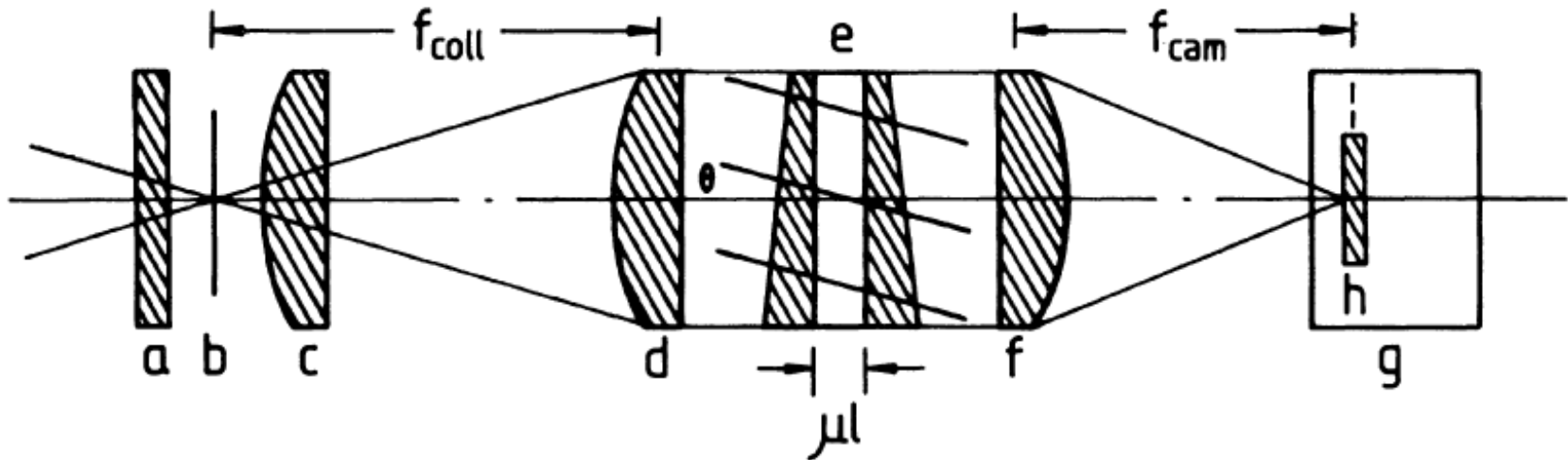
F/4 (БТА)

F/2.6 (БТА+SCORPIO)

Фокальный редуктор

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, но невысокая светосила в фокусах Касеегрена и Несмита.
- Переход в спектрографах низкого разрешения на прозрачные решетки, в том числе и голографические (VPHG)
- Проблема наведения щели спектрографа на предельно слабые объекты
- Для ярких, но протяженных объектов - после наблюдений часто надо уточнить положение щели.

Семейство многорежимных «камер слабых объектов»

ESO 3.6 м телескоп **EFOCS** (Buzoni et al., 1984)
(**E**SO **F**aint **O**bject **S**pectrograph and **C**amera)

EFOC2: 8 (!) режимов наблюдений (1997):

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

Современные приборы 2-10 м телескопов:
AFOCS, DFOC, FORS, DOLLORES..



SCORPIO - основан на идеях 80-90 х годов, приборы такого класса (и с близкими характеристиками) работают во многих обсерваториях мира. Принципиально новым же он являлся исключительно для САО в 2000 г.

Миф II, или
"SCORPIO – позволил достичь многократного
повышения эффективности во всех режимах
наблюдений"

А в реальности:

Все зависит от метода наблюдений:

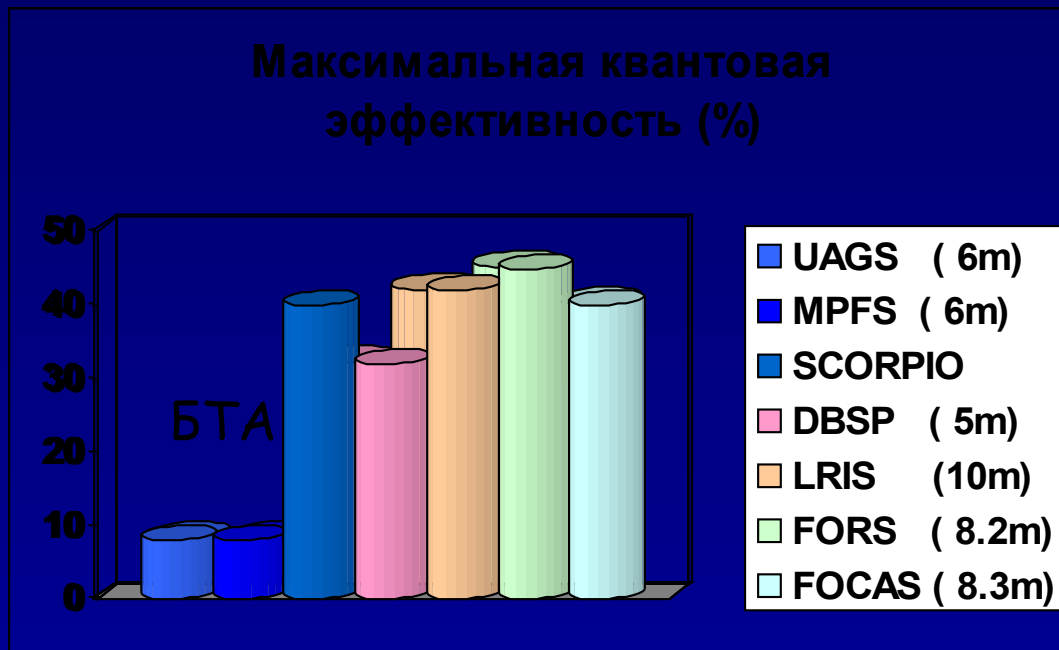
- многократный выигрыш для спектроскопии предельно слабых объектов
- во многом прежний уровень для некоторых задач фотометрии (зависит от типа объектов)

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 100 объектов в поле $15 \times 15'$
3. Спектрограф UAGS: спектры со щелью длиной $2'$
4. Спектрограф умеренного разрешения в Несмит-1: СТТ-124,
позже перестроенный в «Краб»
5. Сканирующий Интерферометр Фабри-Перо: панорамная спектроскопия в узком спектральном интервале

Недостатки спектрографов низкого разрешения на БТА

- **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**



Фокальный редуктор с ИФП

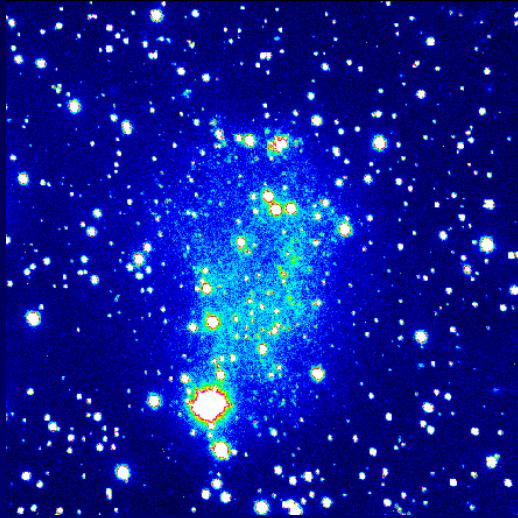
БЫЛО:

- 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

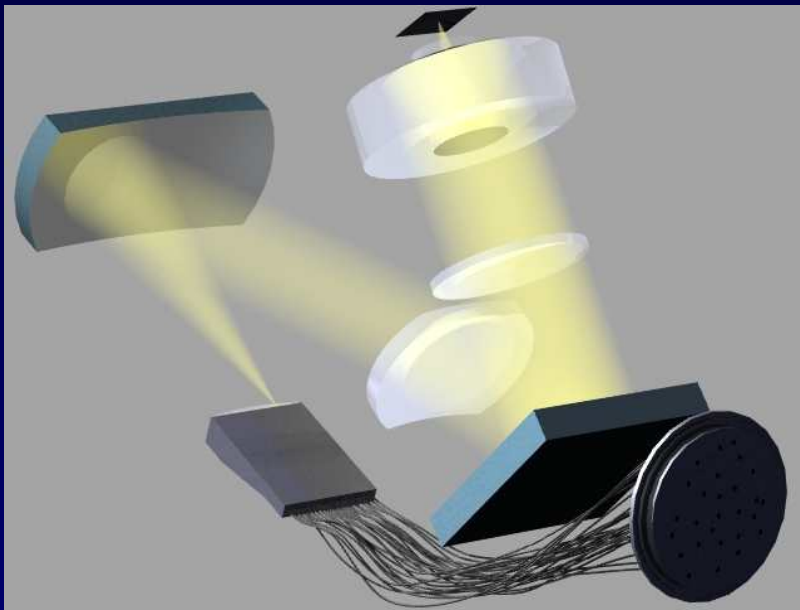


БЫЛО:

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

СТАЛО со SCORPIO:

- С той же ПЗС поле зрения больше в 1.5 раза (но без астигматизма только для seeing от 2")
- Больше оптики - больше бликов на очень ярких звездах
- Сложнее «плоское поле»
- Жесткие требования на фокусировку по полю
- Лучше для узко- и средне-полосной фотометрии (гид+ большой набор фильтров)



Мультиобъектный волоконный спектрограф MOFS

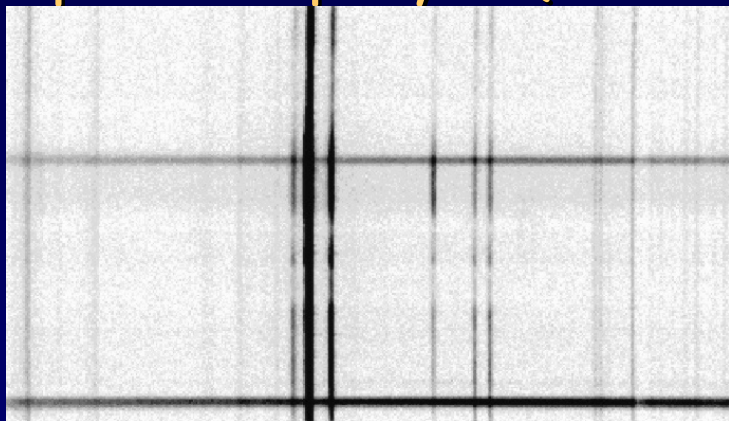
СТАЛО со SCORPIO:

- 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 3x6'
- 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)



БЫЛО:

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

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 (надо ехать на АП)
- Почти нет виньетирования, меньше рассеянный свет
- Анализатор - за щелью (это лучше)
- Точная локализация щели
- Щель в 3 раза длиннее

Спектрофотометрический комплекс СП-124

БЫЛО:

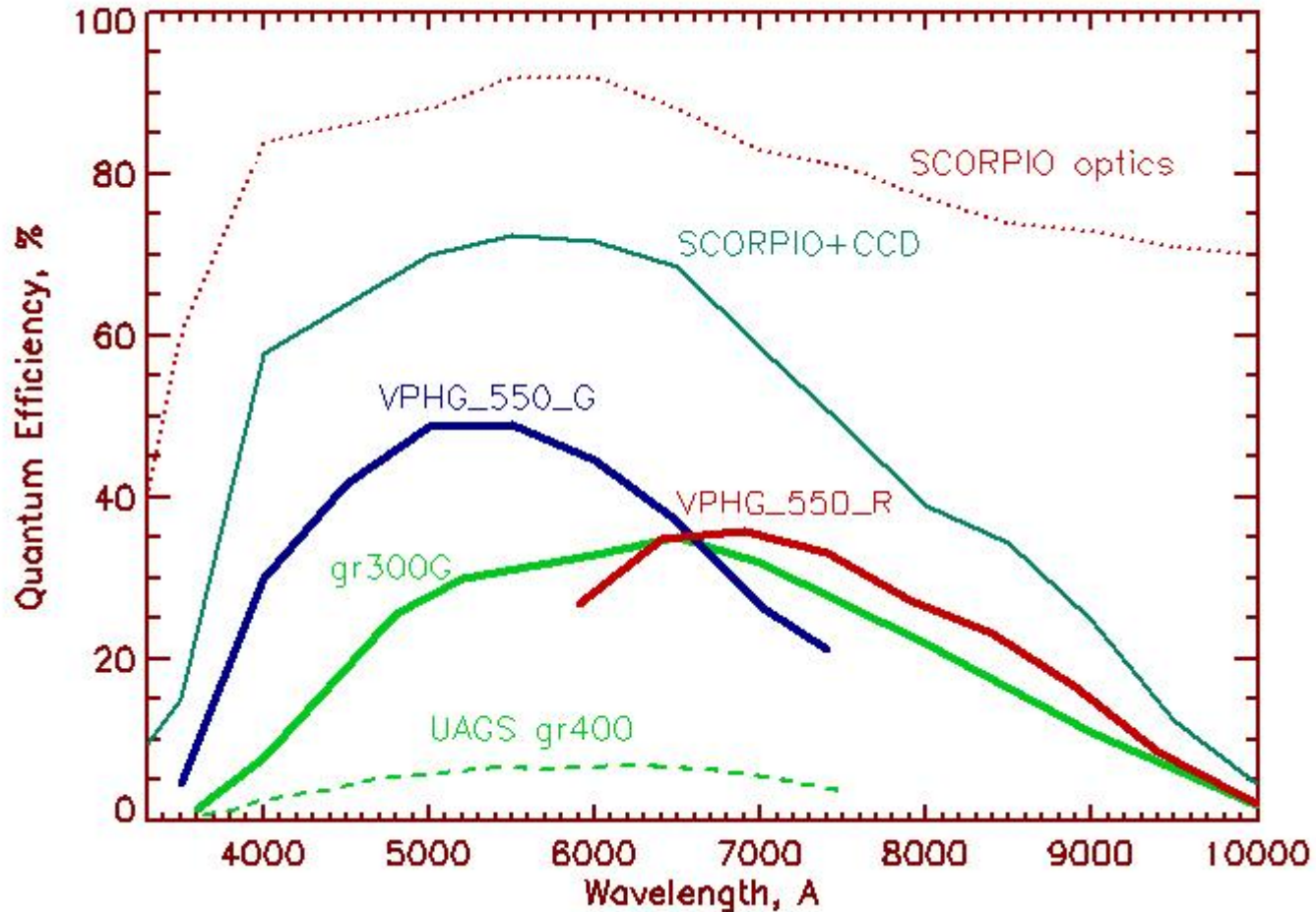
- $\max QE = 1-5\%$ (?)
- Короткая щель (40") + вращение поля зрения
- Легко менять спектральный диапазон на трех (!) решетках
- Простая и понятная система управления
- После модернизации в спектрограф «Краб» - $\max QE = 18\%$ (?), выросло спектральное разрешение, но за 6 лет - ни одной законченной 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 АТ)
- Почти нет виньетирования, меньше рассеянный свет
- Анализатор поляризации
- Точная локализация щели

Квантовая эффективность SCORPIO в спектральном режиме

Идеальный случай - бесщелевая спектроскопия



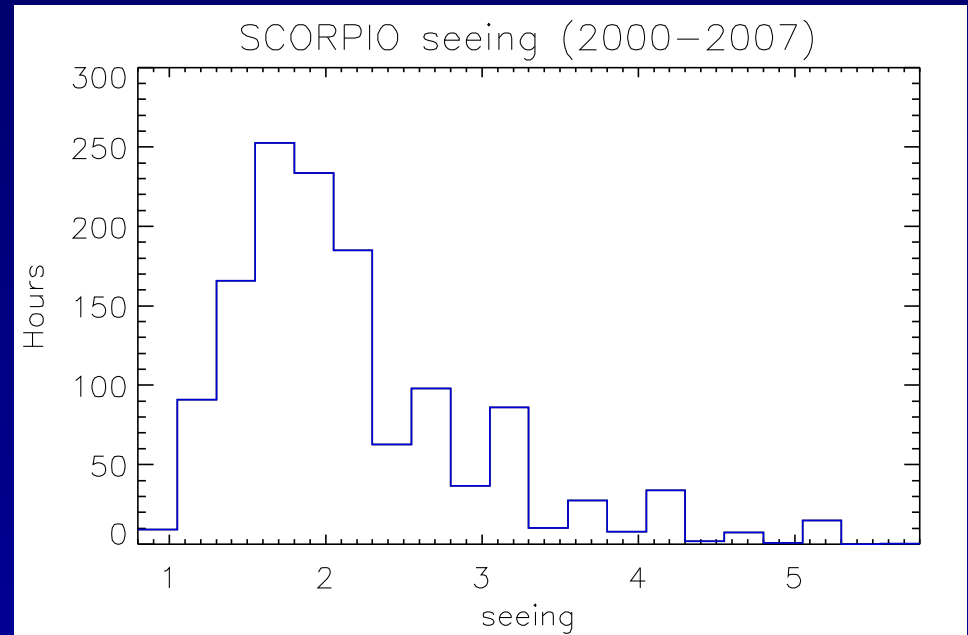
Проблемы организационно-технические:

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

Наши метеоусловия:

Менее 40% ясных ночей

Средний размер звездных изображений 1.5-1.9"



Плюсы и минусы многорежимности

- Гибкость в выборе наблюдательных программ
- Несмотря на высокую степень автоматизации, качество получаемого материала все еще зависит от опыта наблюдателя.
- Ряд компромиссных решений в оптической схеме:
 - ограничение диаметра коллимированного пучка (30 мм) для работы с ИФТ
 - плохая широкощельность
 - текущая оптика рассчитана прежде всего для получения спектров (но в процессе изготовления новый вариант с асферическими поверхностями)

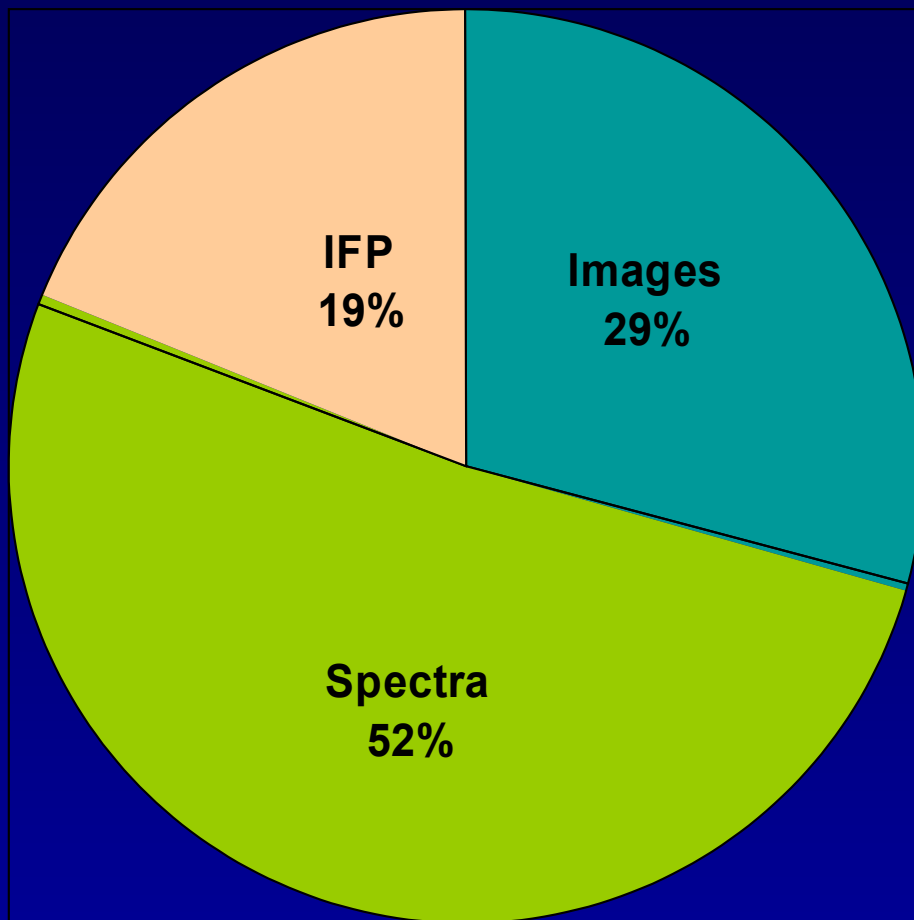
Спектры или фотометрия?

ASPID

*Archive of Spectral,
Photometric and
Interferometric Data*



Суммарная длительность
экспозиций за период 2000-2007 гг



Система управления прибором

Не содержит принципиально новых идей, но, как не странно мало распространена в САО.

3 микропроцессора управляют всеми механизмами прибора (сам редуктор, платформа-адаптер, мультислит):

- 13 двигателей и к ним 26 концевых выключателей
- 2 затвора и еще 33 электромагнита
- 2 лампы и 3 светодиода переменной яркости



От компьютера в аппаратной – только короткие управляющие сигналы

Преимущества такой схемы:

1. Надежность работы на длинных линиях
2. Не требуется труд профессионал-программиста для написания программ управления прибором, хотя отдельные «кирпичики» (ТТЗС, телескоп, микроконтроллер) писали профессионалы.

Первопричины основных проблем SCORPIO

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.

Миф III, или

“прибор создан сотрудниками одной лаборатории для решения их собственных задач, да еще и за САОвский счет!”

А в реальности:

Штатный прибор общего пользования созданный взаимодействием нескольких подразделений САО.

Хотя и про свои интересы не забывали (ИФТТ, мультислит)

История создания SCORPIO

- Армяно-Российско-Китайский проект - редуктор фокуса для среднеполосной фотометри на 2.6 м телескопе
- А не сделать ли второй прибор («клон») и для нужд CAO ?
- Расчет оптики выполнен Афанасьевым только для режима фотометра, предложение Власюка (?) - режим спектроскопии. Проект SCORPIO (техсовет, осень 1999 г.)
- Первые наблюдения в сентябре 2000 г.: хорошее качество звезд по полю, но спектры можно снимать только в центре поле зрения.
- Изготовление многоцелевой приставки (мультислит)
- Замена оптики - проблема остаточного астигматизма изображений, но значительно лучше спектральный режим
- Изготовление и испытание поляризационного блока
- Многократные модификация механики
- К 2006 г. - невозможны серьезные модернизации без полной переделки прибора

Рабочая группа:

Афанасьев В.Л. - научный руководитель, расчет оптики

Веретенев В.В. - сборка механики

Гажур Э.Б. - конструирование

Додонов С.Н. - наблюдения в Бюраканской АО, методика

Желенков С.Р. - блоки управления на микропроцессорах

Моисеев А.В. - руководитель проекта, программы управления

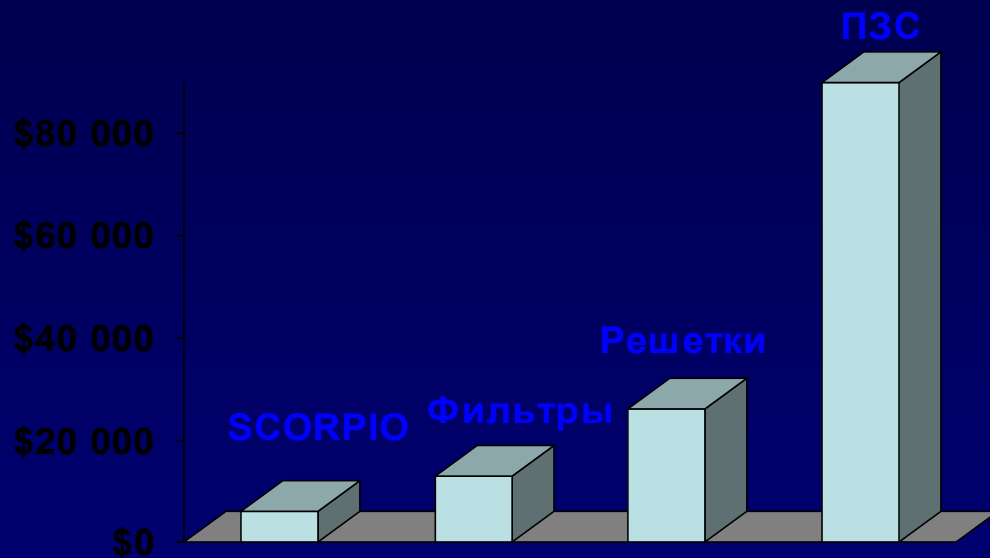
Перепелицын Е.И. - изготовление оптики

Фатеев В.И. - электро-силовая часть

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

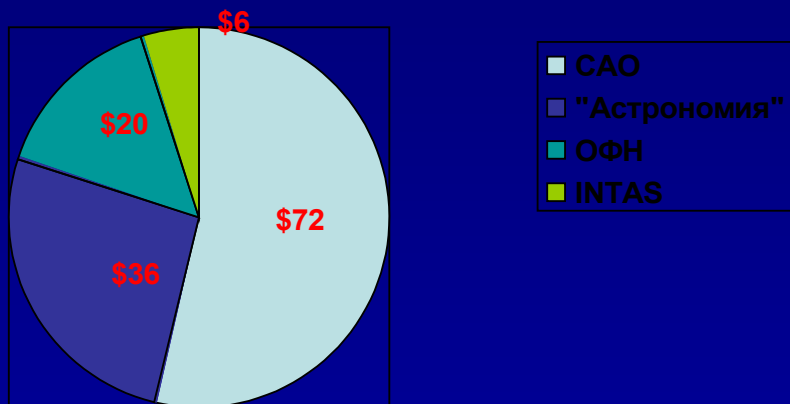
На уровне обработки можно добиться много, но плохой методикой можно испортить вообще все.

Финансовые затраты на проект



Суммарные затраты на проект SCORPIO составили \$135,000

При этом сам редуктор как таковой: \$6,000 (<5%)



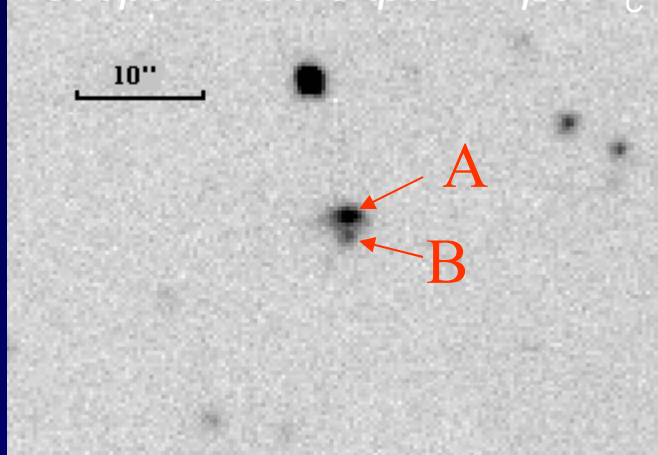
Эффективность спектроскопии низкого разрешения на 6-м телескопе увеличилась в 6 раз (от 6-8% на UAGS до 40% на SCORPIO+VPHG)

Что же SCORPIO принес нового?

- **Массовое определение красных смещений объектов слабее 20^m** (заявки и статьи Амирханяна, Артюха (?), Мингалиева, Тарийского, Соколова)
- **Поверхностная фотометрия в эмиссионных линиях** (заявки и статьи Караченцева, Лозинской, Комаровой, Моисеева)
- **Кинематика звездного компонента в галактиках** (заявки и статьи Засова, Ваес, Моисеева)
- **Изучение звездного населения галактик, Ликсая система индексов** (заявки и статьи Ваес, Бизяева, Шариной)
- **«Гибкость» в применении сканирующего ИФТ для спектроскопии в различных эмиссионных линиях** (заявки и статьи Лозинской, Мовсисяна, Муноз-Тупон)

Спектроскопия слабых объектов

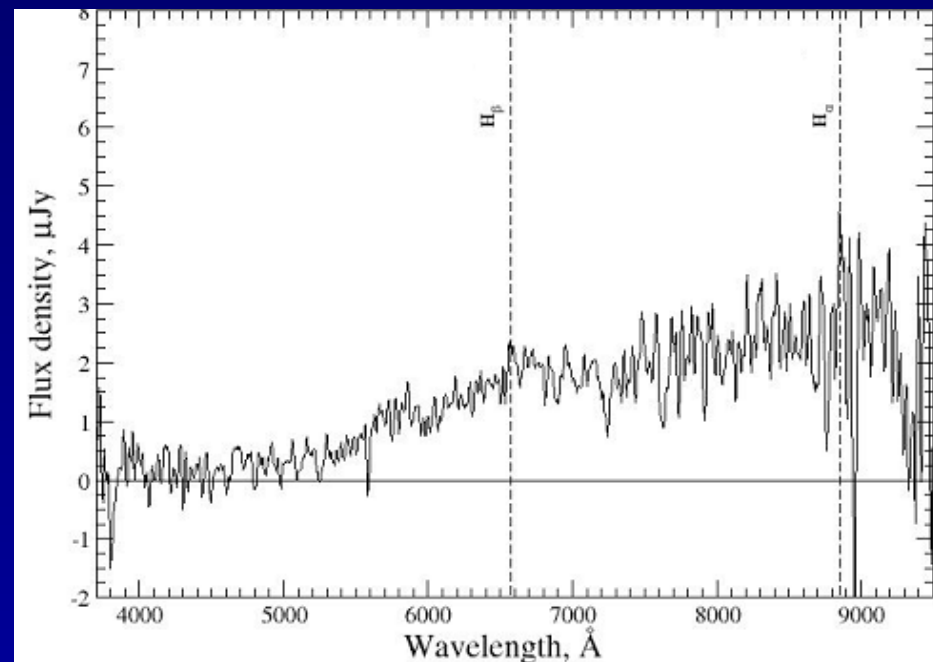
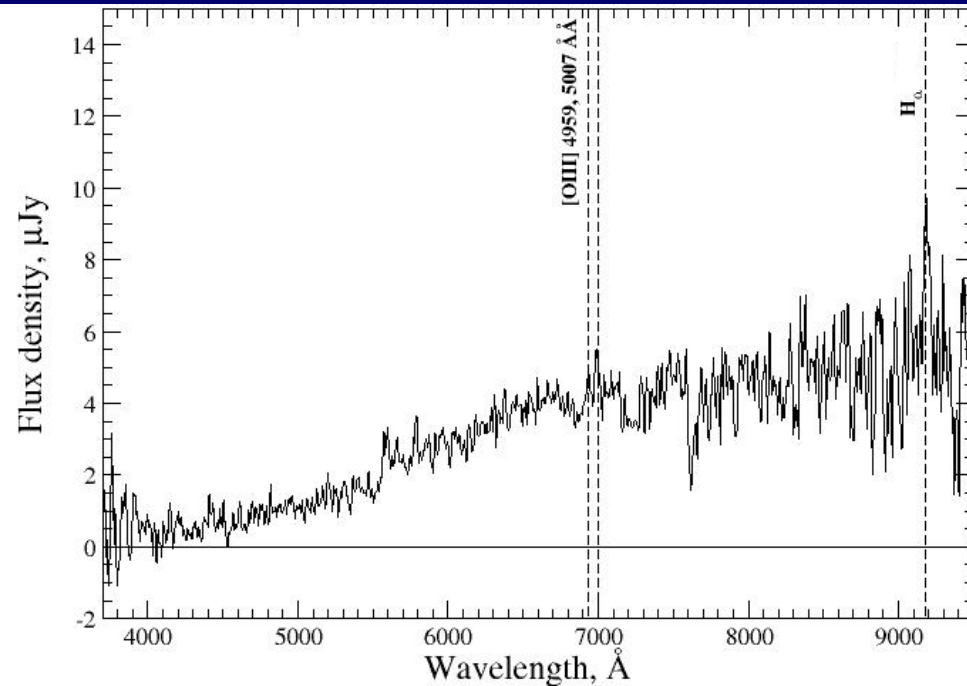
Изображение в фильтре R_c $T_{\text{exp}}=180$ s, seeing=1.3"



Спектроскопия вероятной родительской галактики «темного» гамма-всплеска GRB001109: $T_{\text{exp}}=7200$ s
(Фатхуллин, 2003, препринт САО, 180)

Объект А: $R_c=22.5^m$, $z=0.40$

Объект В: $R_c=23.4^m$, $z=0.34$



Н α -обзор близких карликовых галактик

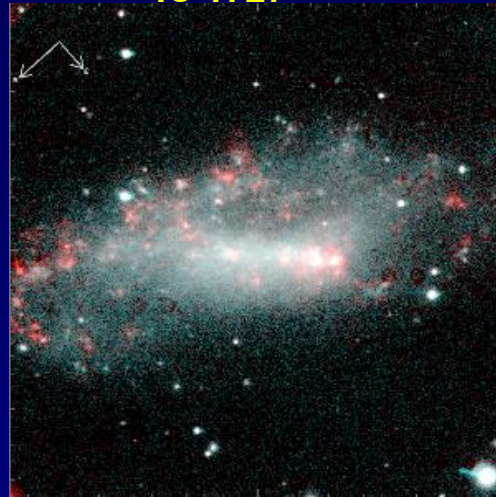
(Караченцев и др.)

*синий цвет соответствует звездному континууму,
красный -- излучению ионизованного газа в линиях Н α + $[NII]$*

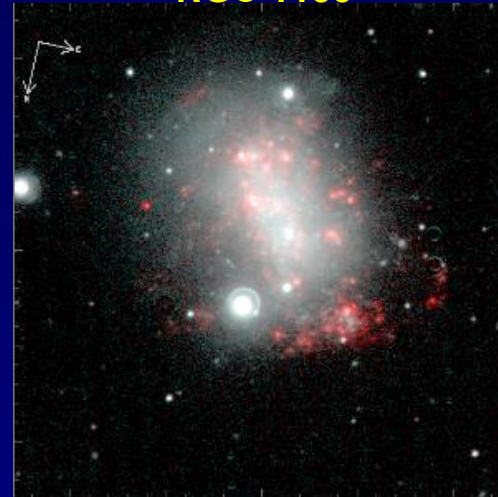
NGC 1569



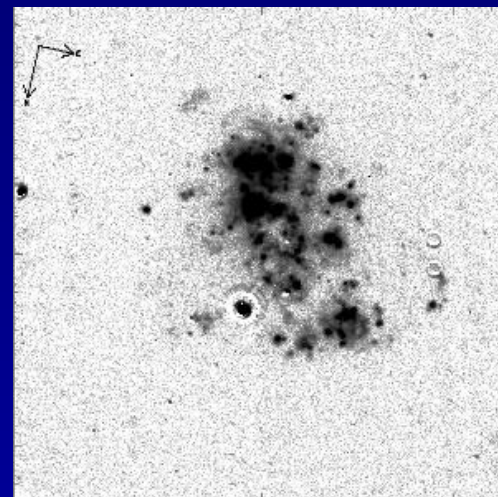
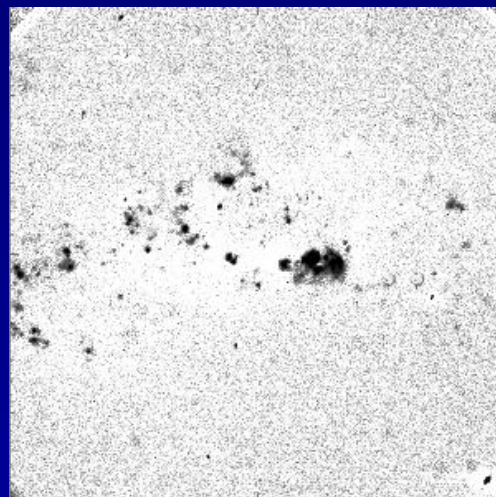
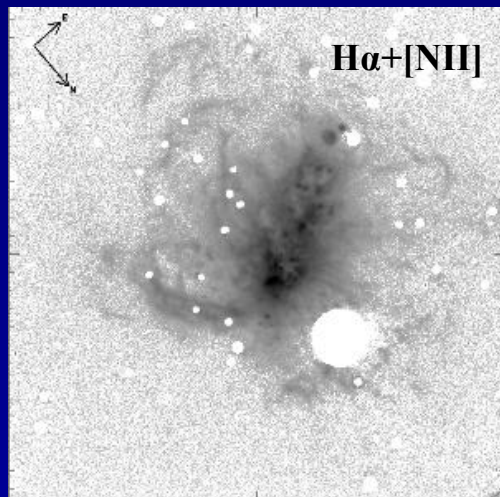
IC 1727



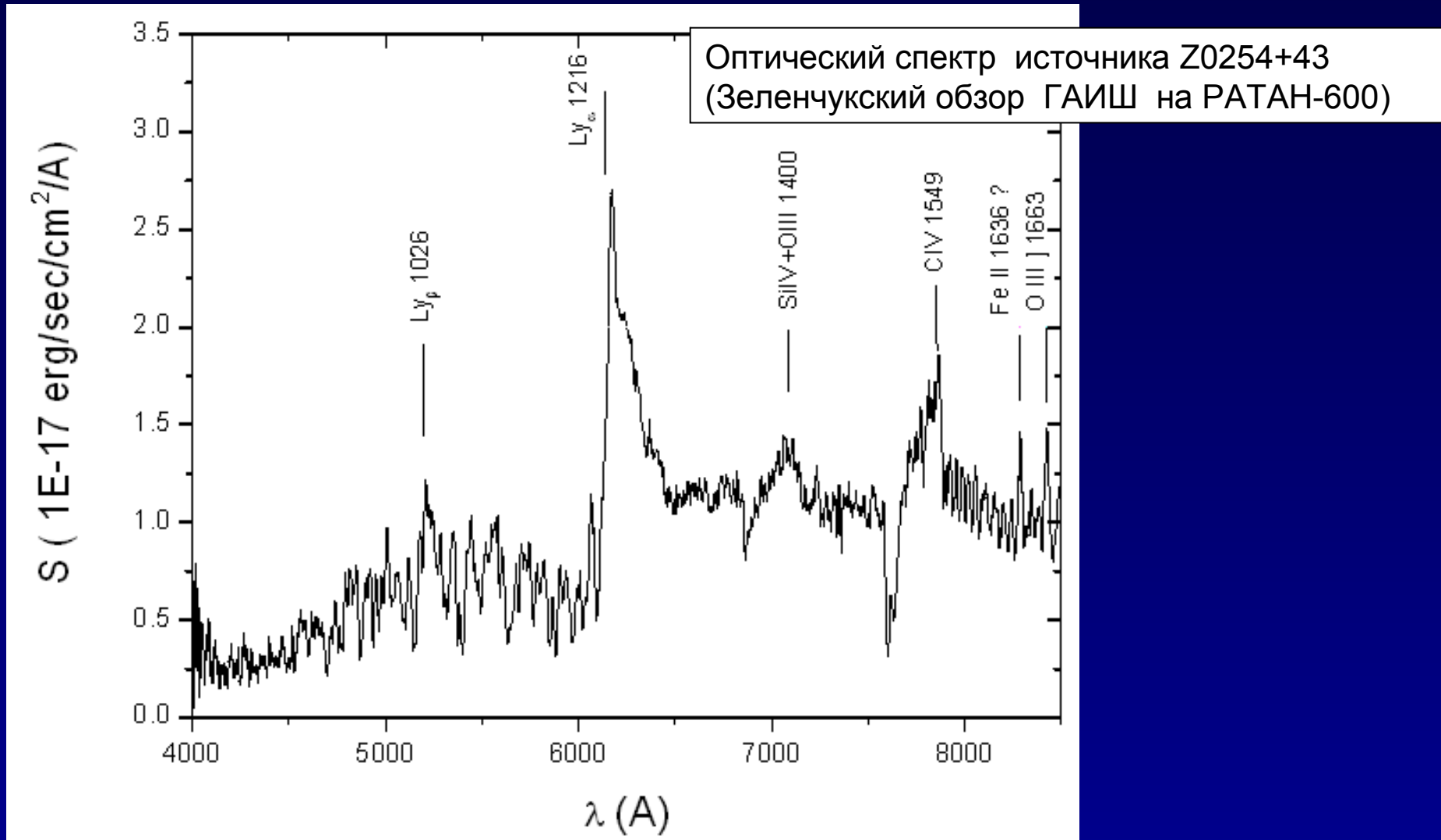
NGC 1156



Н α + $[NII]$



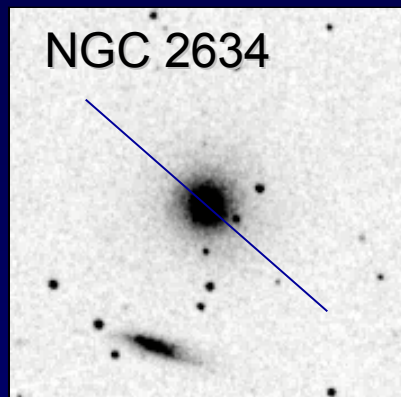
Обнаружение далекого радиогромкого квазара ($z=4.07$)



Z0254+43 – является самым радиогромким (на частоте 1.4 ГГц) среди известных 20 радиоисточников с красным смещением более 4.

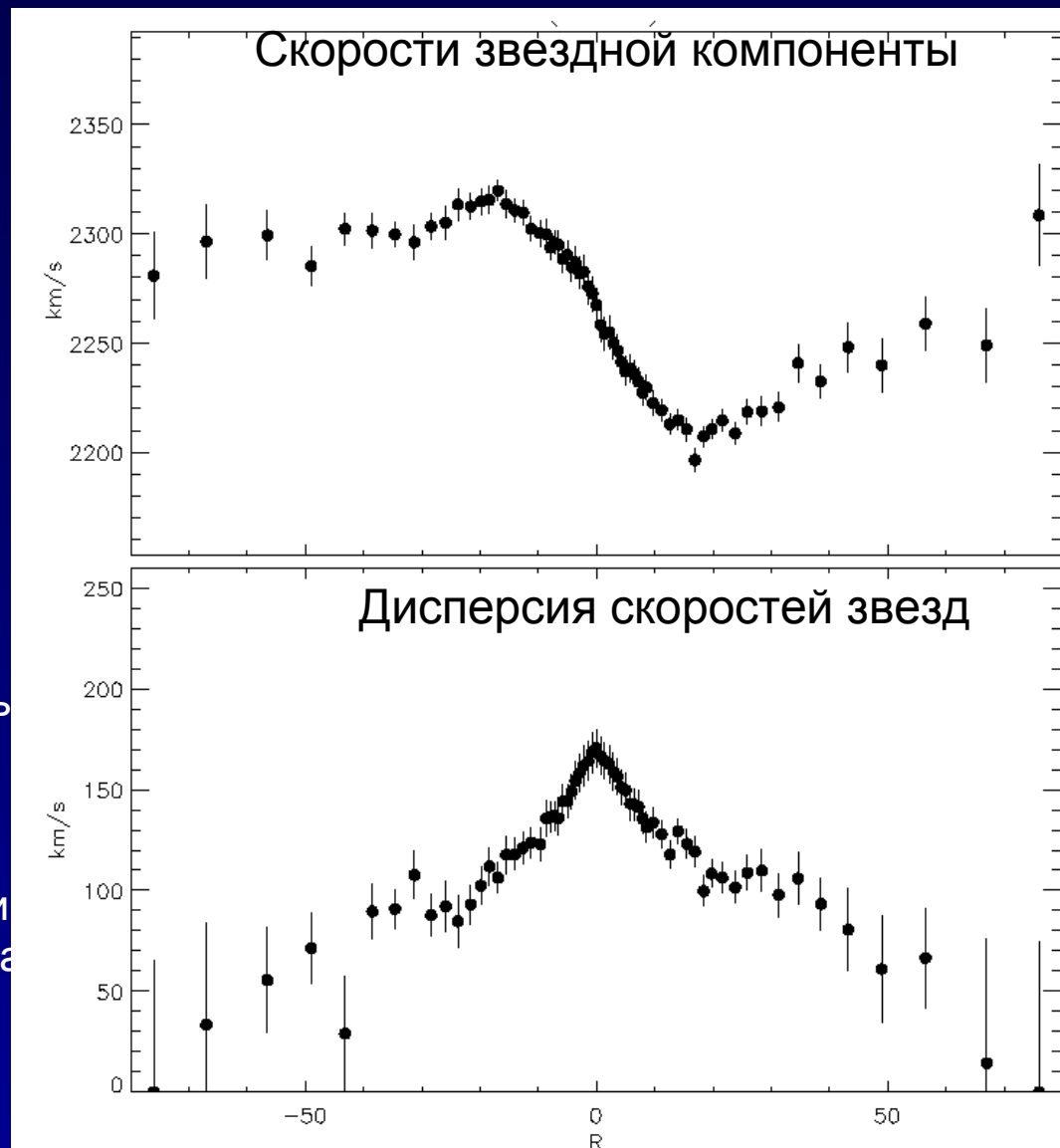
(Амирханян, Михайлов.)

Темная материя в эллиптических галактиках



Получены уникальные данные по кинематике звезд в эллиптической галактике (суммарная экспозиция составила около 5 часов). Удалось измерить дисперсию скоростей вплоть до расстояния в 3.5 эффективных радиуса от центра.

Впервые для эллиптической галактики получены оценки градиента химсостава и возраста на столь больших расстояниях от центра. Это важный материал для выбора сценария образования галактик.



(Baes, Belgium)



Результат = прибор

+ методика наблюдений
+ методика обработки

IC 1613
SCORPIO
Zeiss-1000