

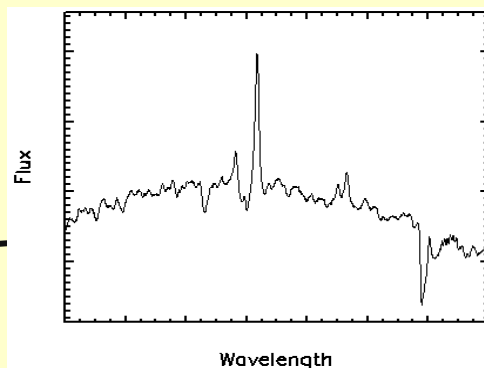
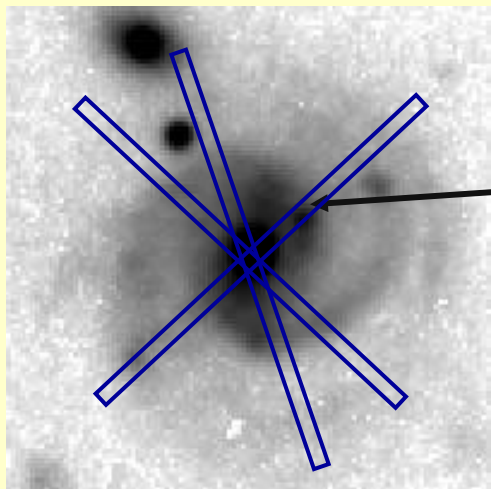
Методы панорамной спектроскопии

Лекция 2.

Мультизрачковые спектрографы, комбинация линза-волокно.
Методы изучения кинематики газа и звезд в галактиках,
кросс-корреляционная техника. Спектрографы TIGER,
SAURON, MPFS (обзор результатов), PMAS, VIMOS, SCORPIO-
2/IFU.

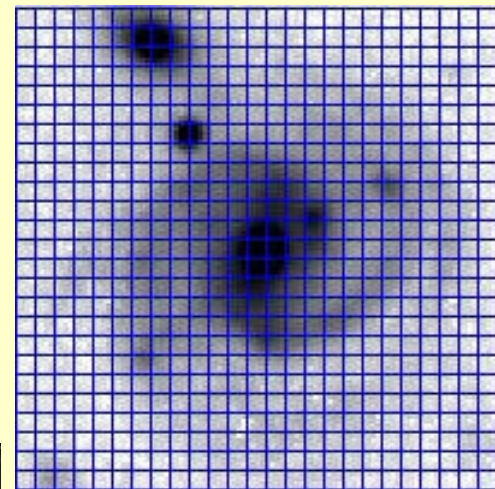
Сравнение щелевой и панорамной спектроскопии

(длинная щель)

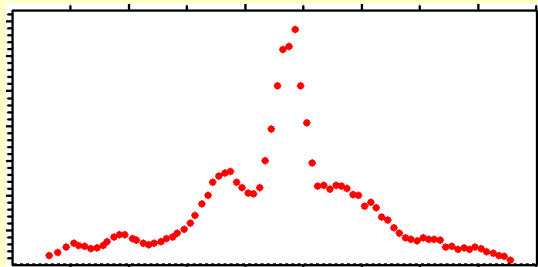


**Монохроматическое
изображение**

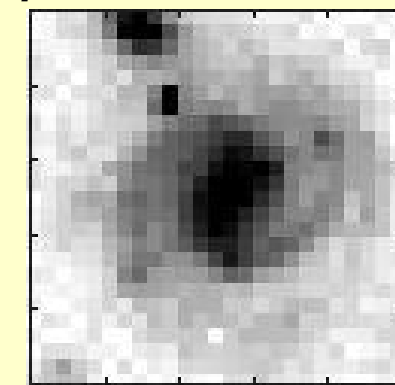
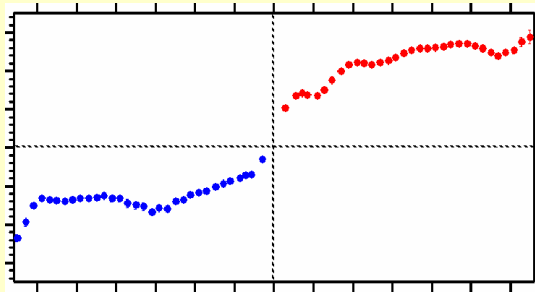
3D



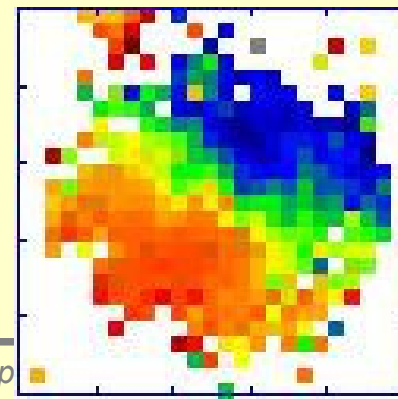
Потоки в линиях



Лучевые скорости

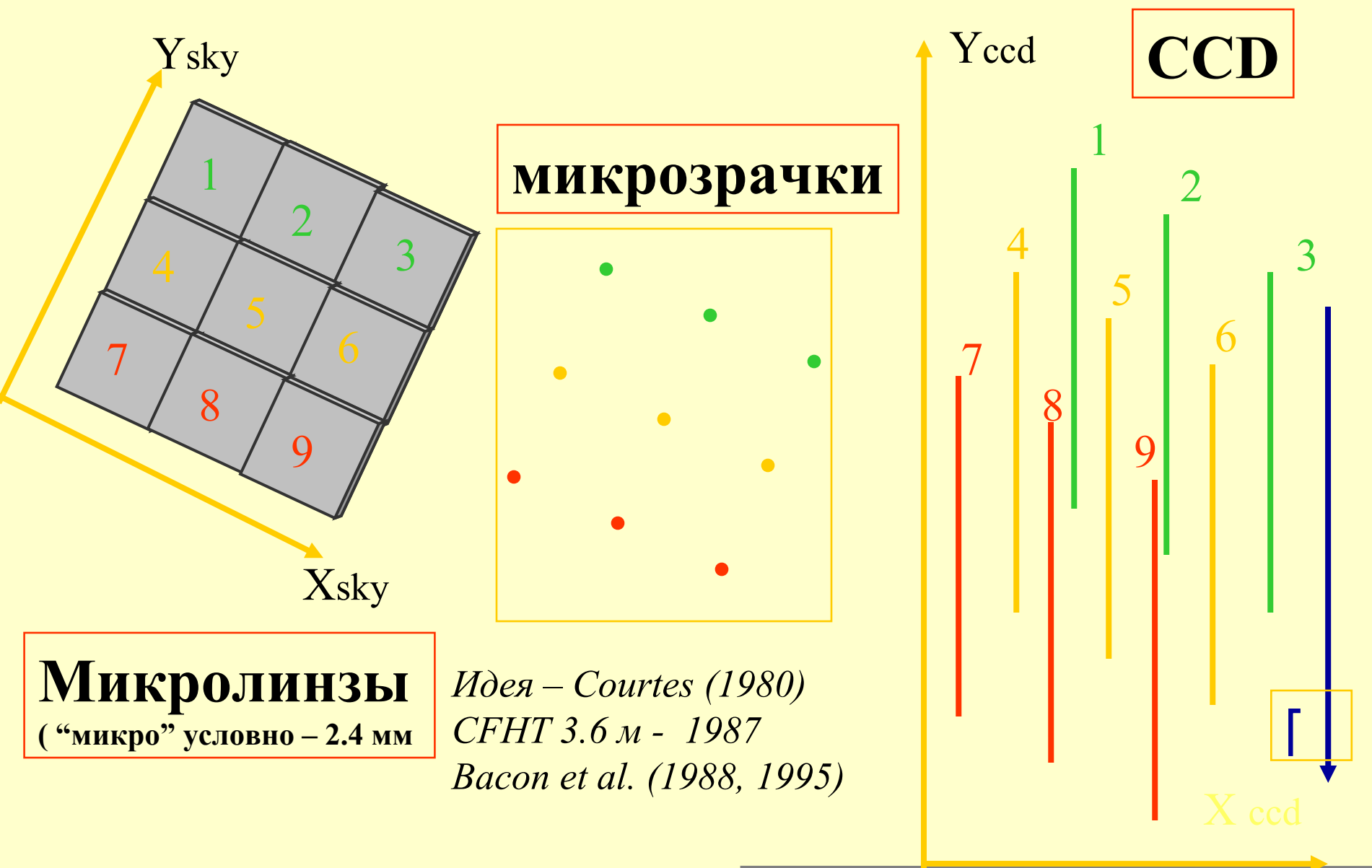


Поле скоростей



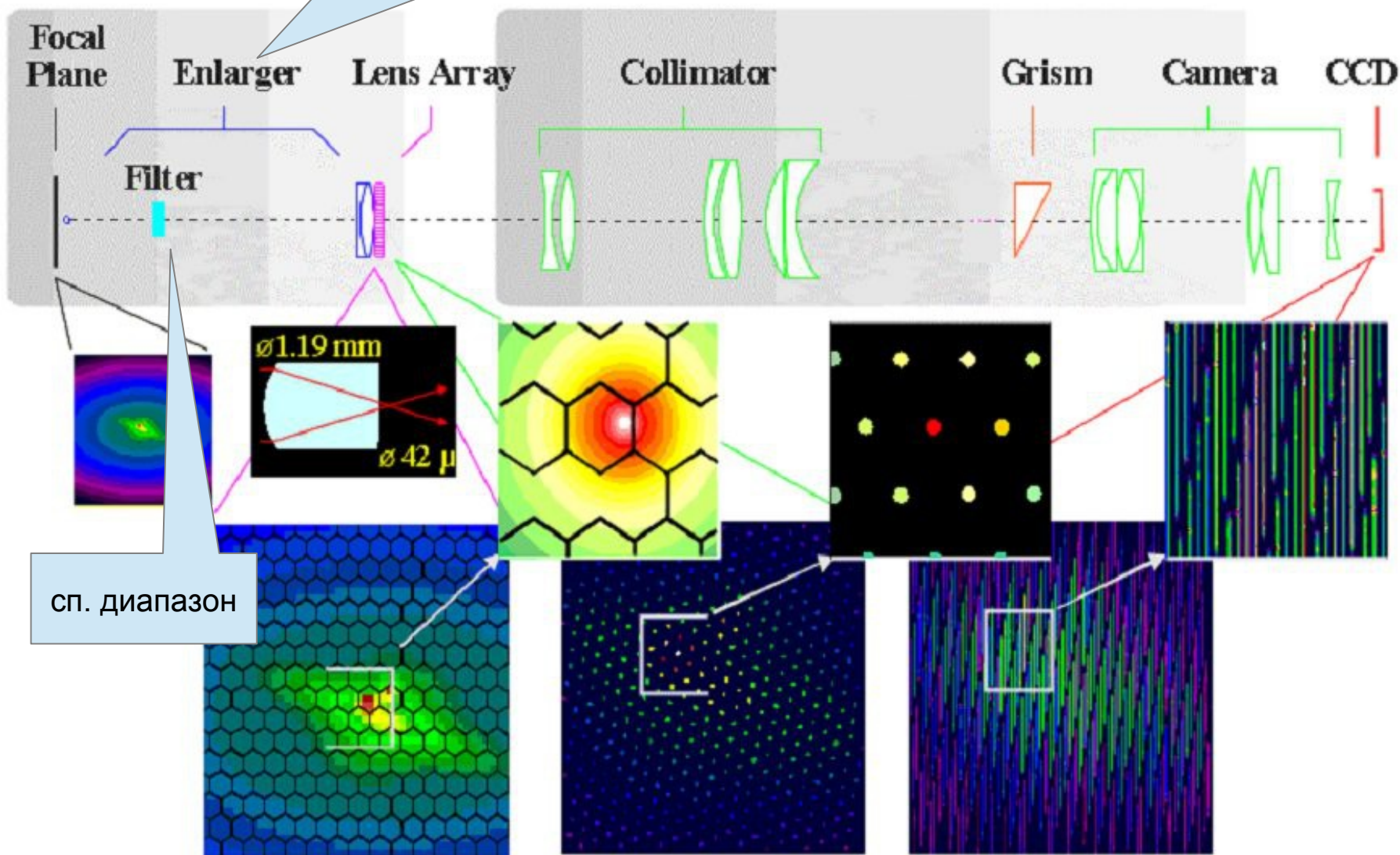
«Методы панорамной спектроскопии»

TIGER: Traitement Intégral des Galaxies par l'Etude de leurs Raies



TIGER MODE OPTICAL LAYOUT

x10-x20, размер линзы 1-2 мм

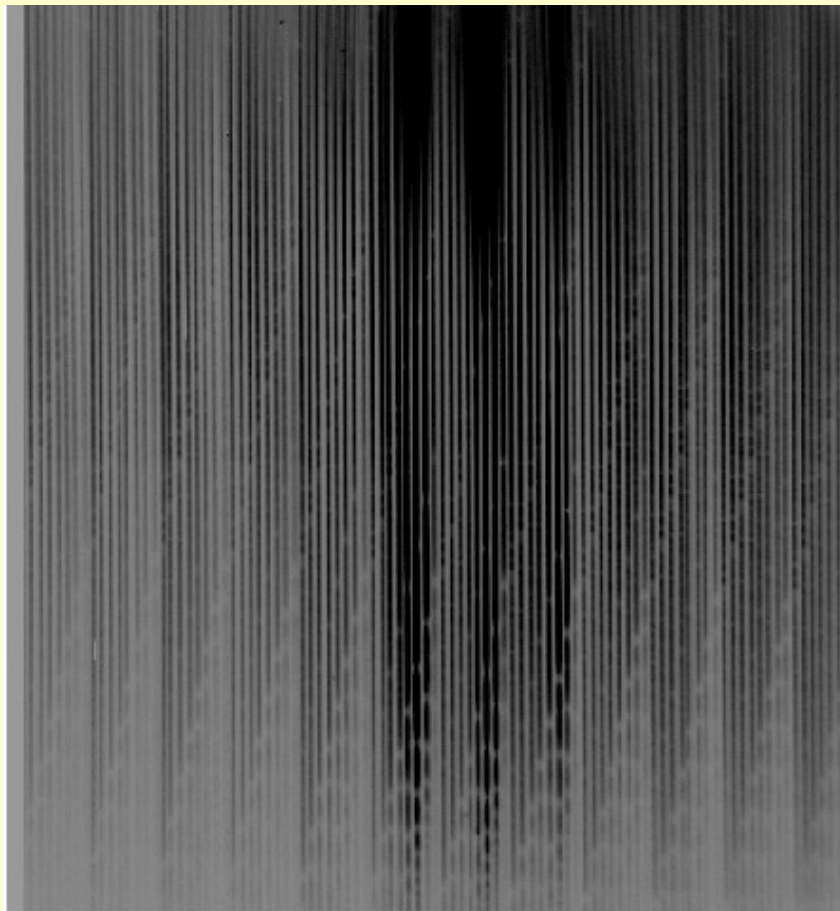


MPFS (version 2) = Multi Pupil **Field** Spectrograph

Афанасьев и др. 1994-1996

10x16 линз, ПЗС 530x580

Увеличитель – 1.3, 0.65, 0.45"



Преимущества “ТИГРИНОЙ” схемы:

- простота реализации
(есть технологии штамповки растров, хотя у нас в САО – наборные)
- относительно высокое пропускание

Проблемы:

- надо как-то заводить сюда фон неба
- ограниченный спектральный диапазон (спектры перекрываются)
- неэффективное использование площади детектора (много свободного места)

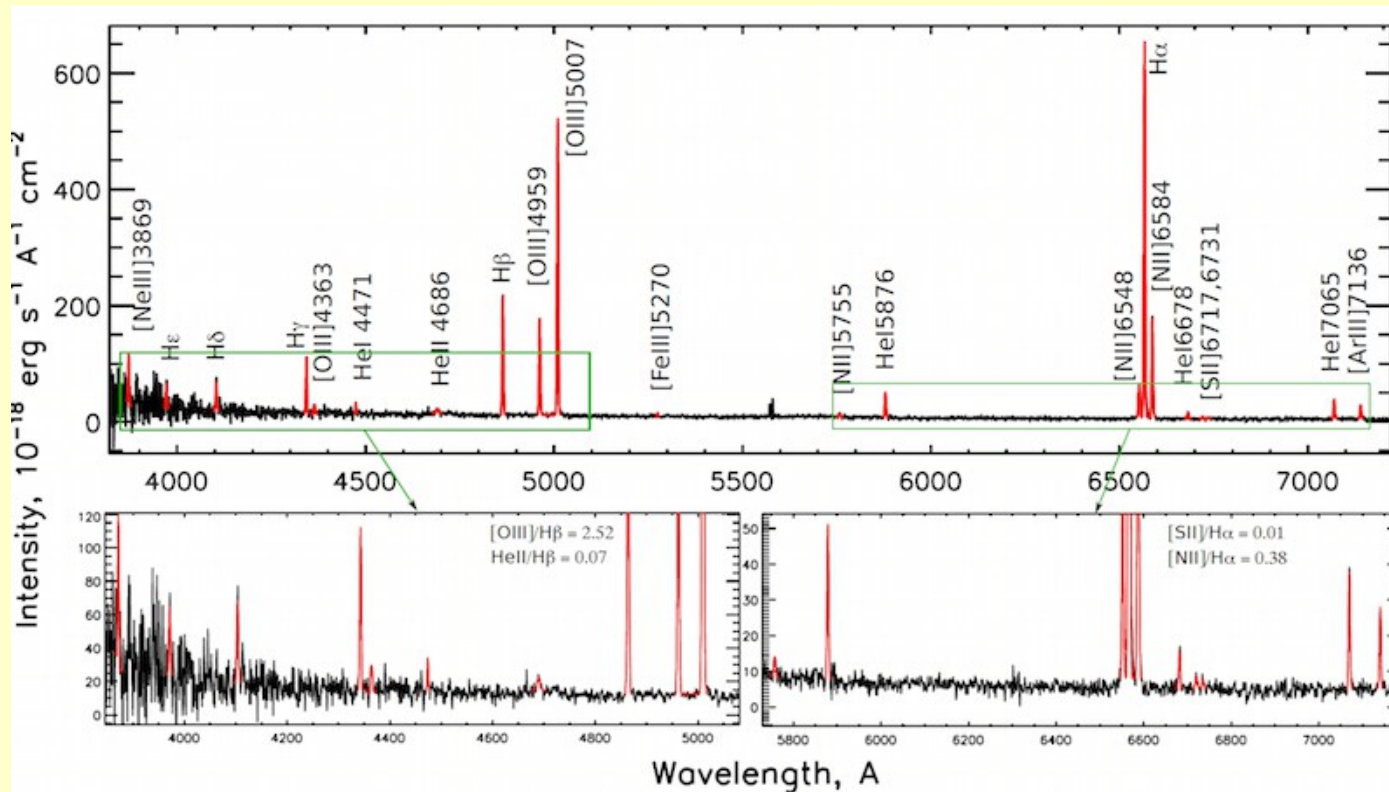
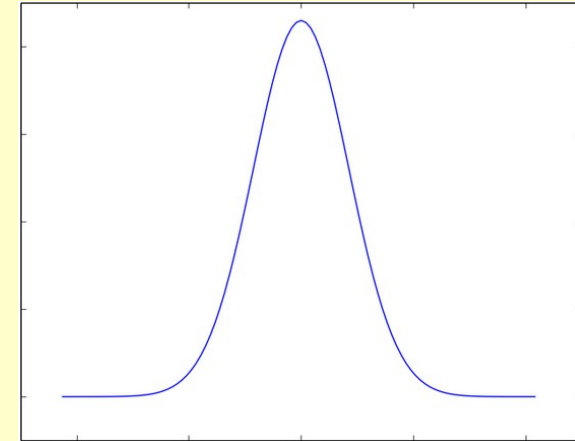
=> специализированные приборы,
преимущественно для изучения **кинематики**

Кинематика газа

$$I(\lambda) = I_0 \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Гауссиана – хорошо работает в очень многих случаях:

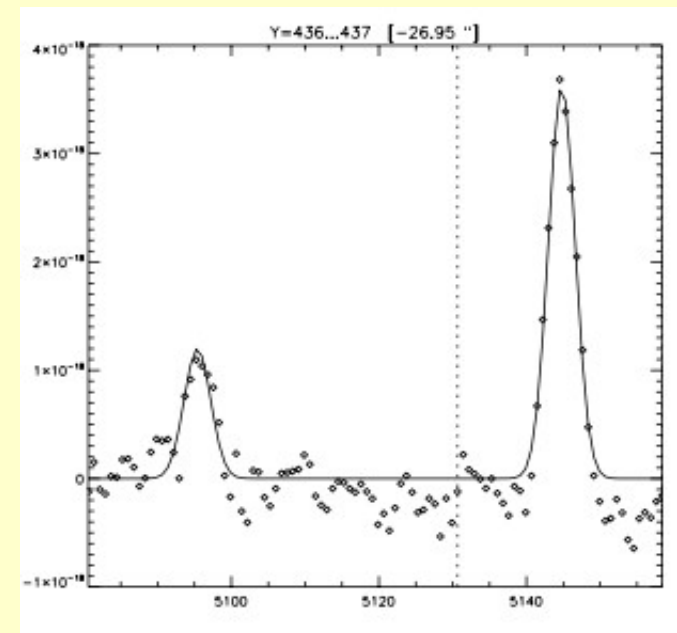
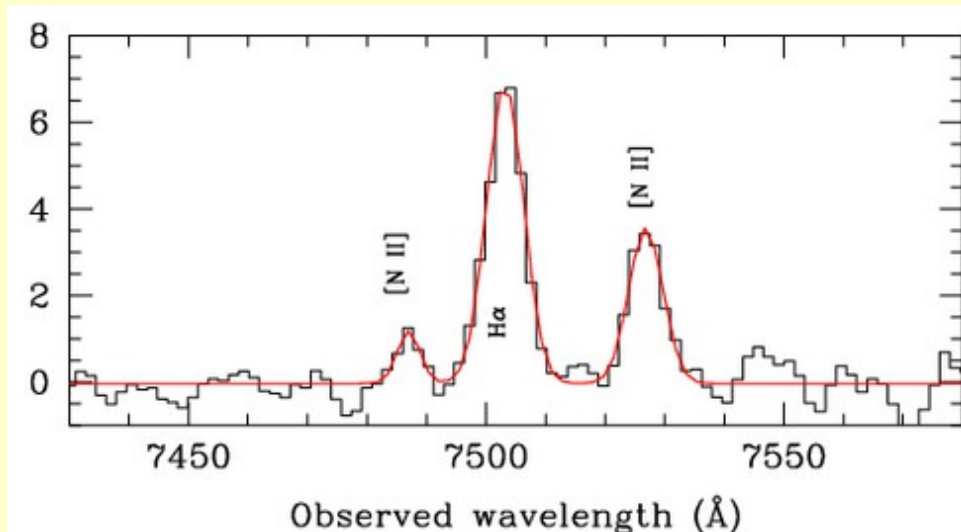
- хорошо приближение инструментального профиля
- тепловое уширение линий
- уширение случайными движениями газовых облаков



Кинематика газа: гауссовский фитинг

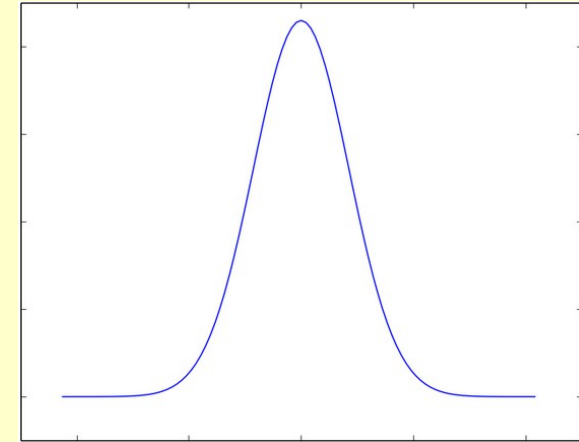
Методы повышения точности измерений
(больше линий, относительно меньше параметров):

- Для дублетов – фиксируем полуширину, расстояние (в шкале v !)
- Дублеты с известным отношением амплитуд:
[O III] λ 4959,5007, [N II] λ 6548,6583
- Можно, вообще, все наблюдаемые линии фитировать в предположении одинаковой скорости и дисперсии
(или отдельно запрещенные и бальмеровские)



Дисперсия скоростей

$$I(\lambda) = I_0 \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}\right)$$



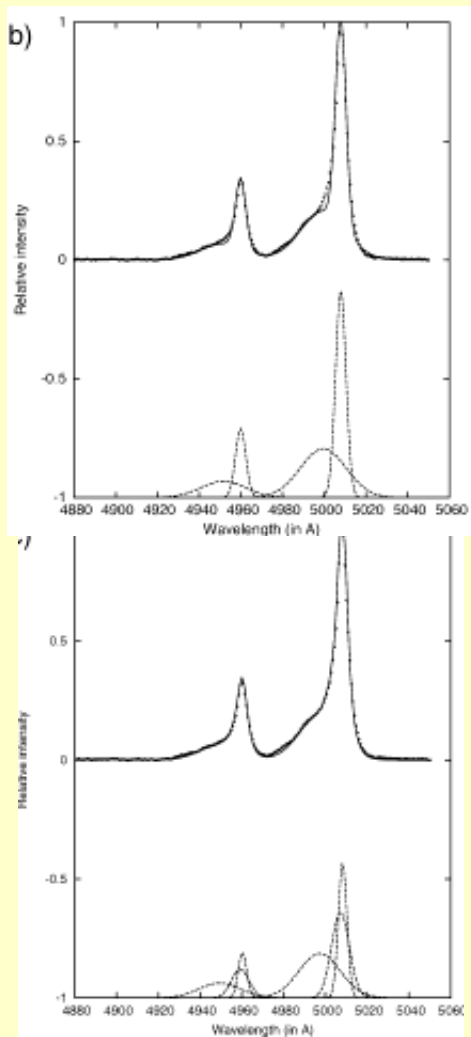
$$FWHM = 2\sqrt{2\ln 2} \sigma \approx 2.3548\sigma$$

Если **все профили гауссовские**, то легко учитывается уширение инструментального профиля (определяем по линиям неба или лампы):

$$\sigma_{real} = \sqrt{\sigma_{obs}^2 - \sigma_{instr}^2}$$

Многокомпонентный профиль

Всегда следует помнить о том, что гауссовские функции не ортогональны!



Важно понимать физический смысл компонент!

Smirnova et al (2007): outflow map in Mrk 533:

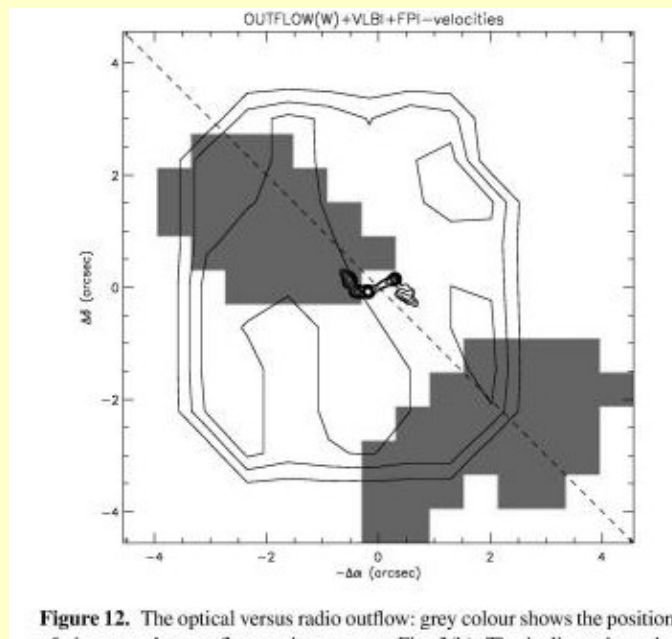


Figure 12. The optical versus radio outflow: grey colour shows the position

Кинематика звезд

Для “внегалактического” спектрального разрешения ($R = 1000\text{--}2000$) звездные линии блендируются + реальная дисперсия скоростей

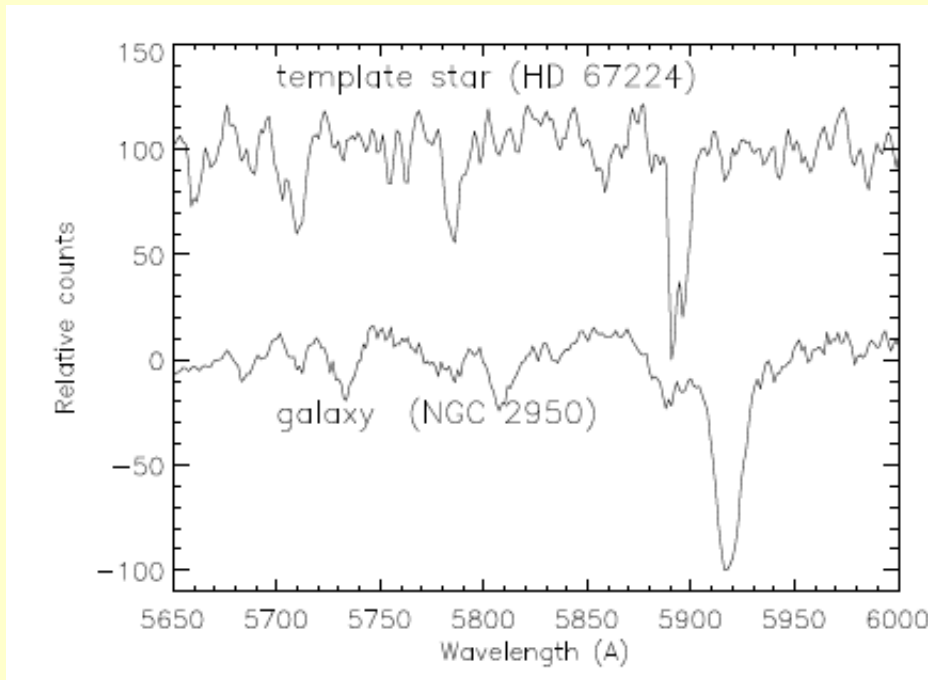
Доплеровское смещение спектров - зависит от длины волны:

$$\Delta\lambda(\lambda) = \lambda \frac{v}{c}$$

Но линейно в логарифмическом масштабе (по n):

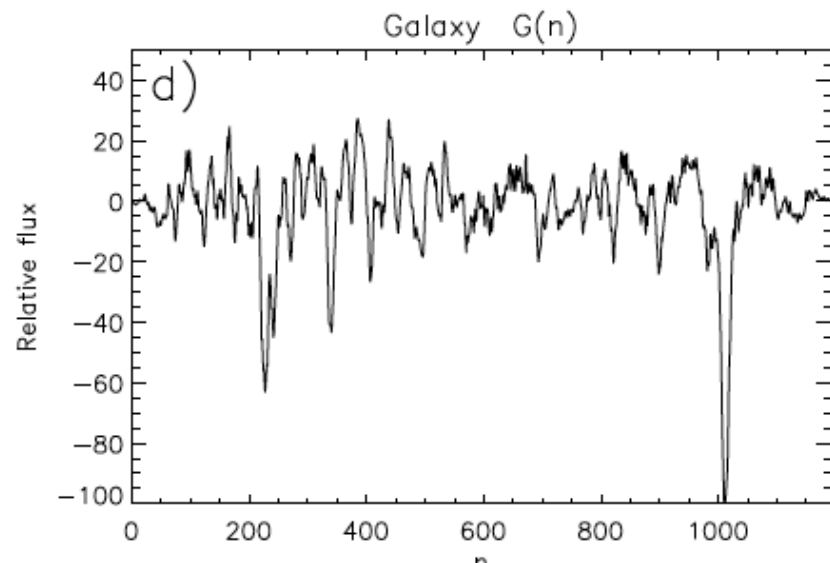
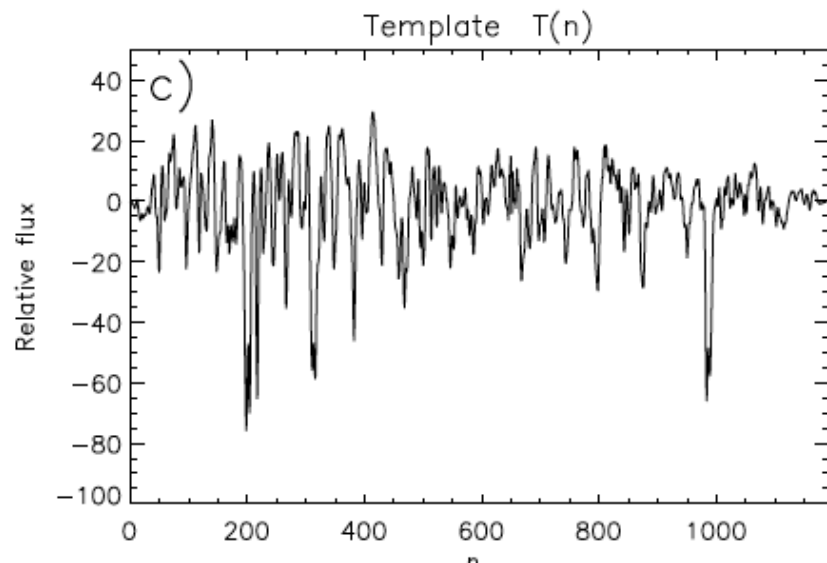
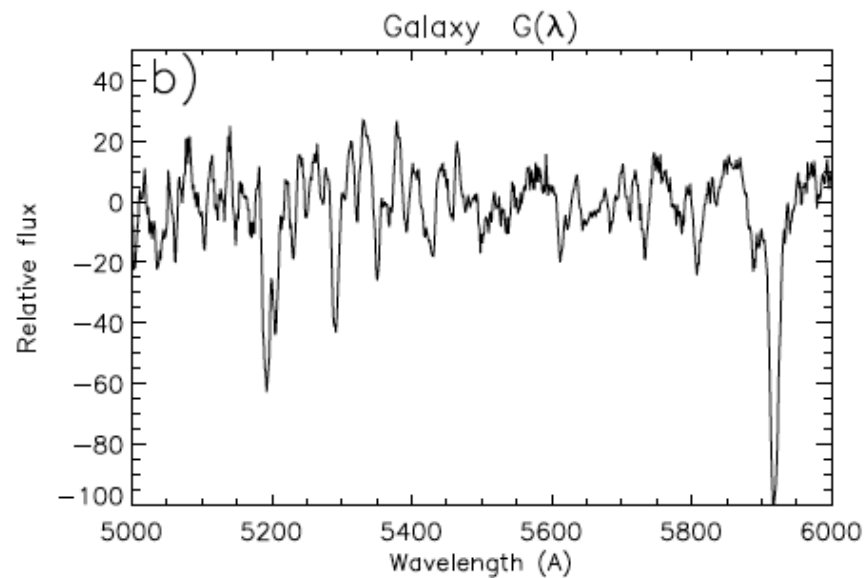
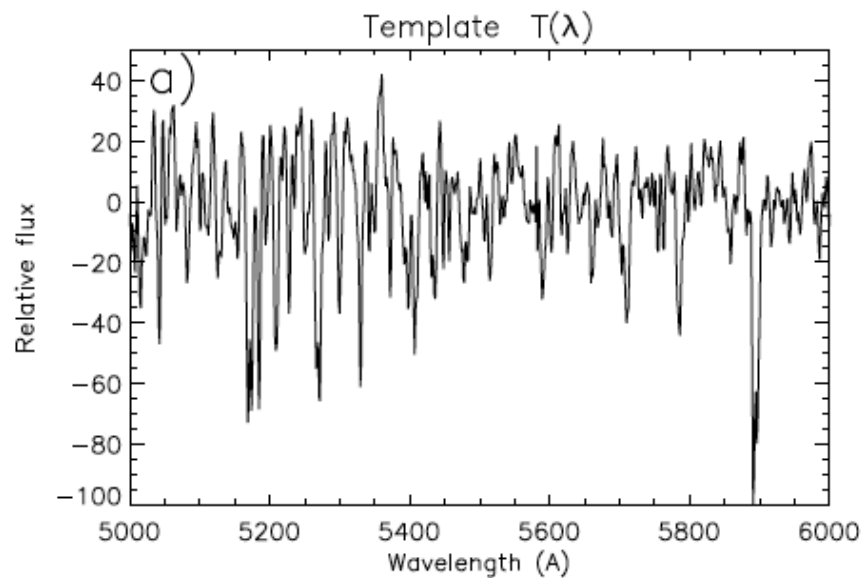
$$n = a \lg(\lambda_n) + b,$$

$$a = \lg^{-1}(1 + \Delta v/c), \quad b = -a \lg(\lambda_0)$$



Moiseev (2001, Bull SAO)

log-шкала



Кросс-корреляционная техника

Спектр галактики может быть представлен как смещенный по скорости спектр шаблона, свернутый с некоторой функцией уширения, обусловленной внутренними движениями звезд в галактике вдоль луча зрения:

$$G(n) = \alpha T(n) \odot B(n - v)$$

$$B(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right) \quad - \text{функция уширения}$$

здесь v и σ – искомые скорость и дисперсия скоростей вдоль луча зрения

Метод базируется на классической статье Tonry & Davis (1979) и основан на вычислении нормализованной кросс-корреляционной функции:

$$C(n) = G(n) \otimes T(n) = \frac{1}{N\sigma_g\sigma_t} \sum_m G(m)T(m - n)$$

$$C(n) = (T(n) \otimes T(n)) \odot B(n - v)$$

Кросс-корреляционная функция спектра галактики и звезды является сверткой автокорреляционной функции спектра звезды-шаблона $T(n)$, которая несет информацию об аппаратном контуре спектрографа, с функцией уширения $B(n)$

Кросс-корреляционная техника

Можно показать, что если центральный пик кросс-корреляционной функции представляется гауссианой с дисперсией μ :

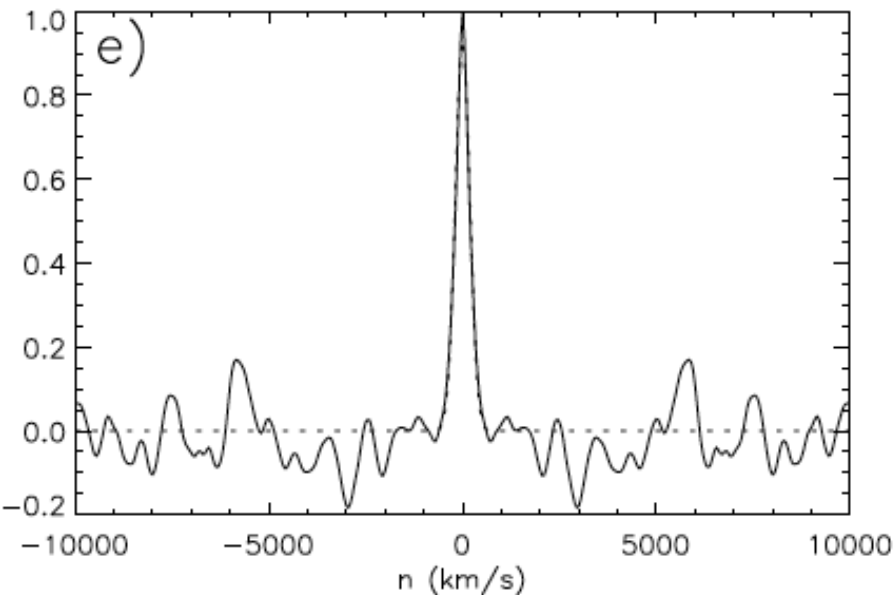
$$C(n) = c_0 \exp\left(-\frac{(n - v)^2}{2\mu^2}\right), \quad (1.17)$$

а пик автокорреляционной функции спектра звезды-шаблона – гауссианой с дисперсией τ , то квадрат дисперсии скоростей вычисляется как:

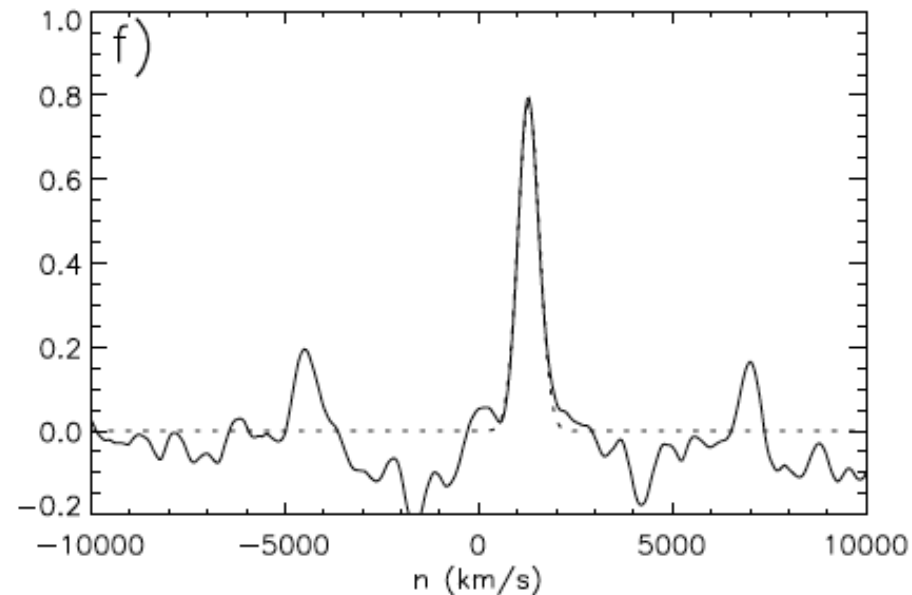
$$\sigma^2 = \mu^2 - \tau^2 \quad (1.18)$$

При этом $\tau/\sqrt{2}$ является дисперсией гауссианы, описывающей аппаратный контур спектрографа. На практике, из-за отличия формы пика от гауссовского, вклада низко-

Auto-correlation: T×T



Cross-correlation: G×T



Проблемы этой техники

- отличия функции уширения $B(n)$ от гауссианы (следующая лекция!), зависимость дисперсии скоростей от шаблона
- Проблема учета вариация аппаратного профиля по полю: рассветное небо, спектры калибровочной лампы (не точное соответствие!), расфокусированная звезда оптимального спектрального класса (или двигать звезду по растру микрозрачков)

Тем не менее, очень устойчивая техника измерений лучевых скоростей!

Вариации контура по полю: MPFS

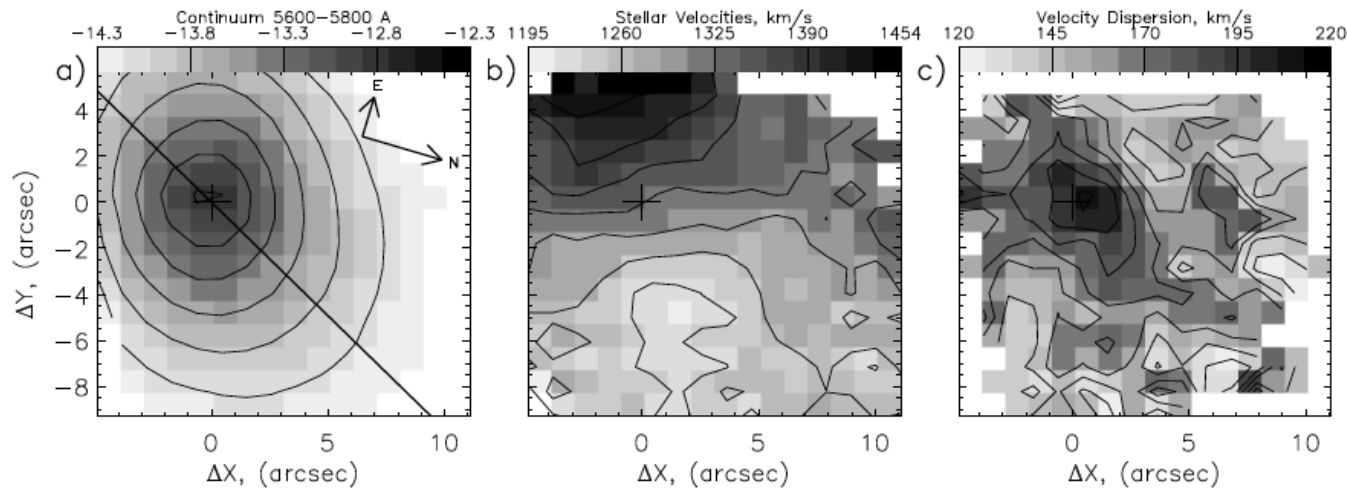
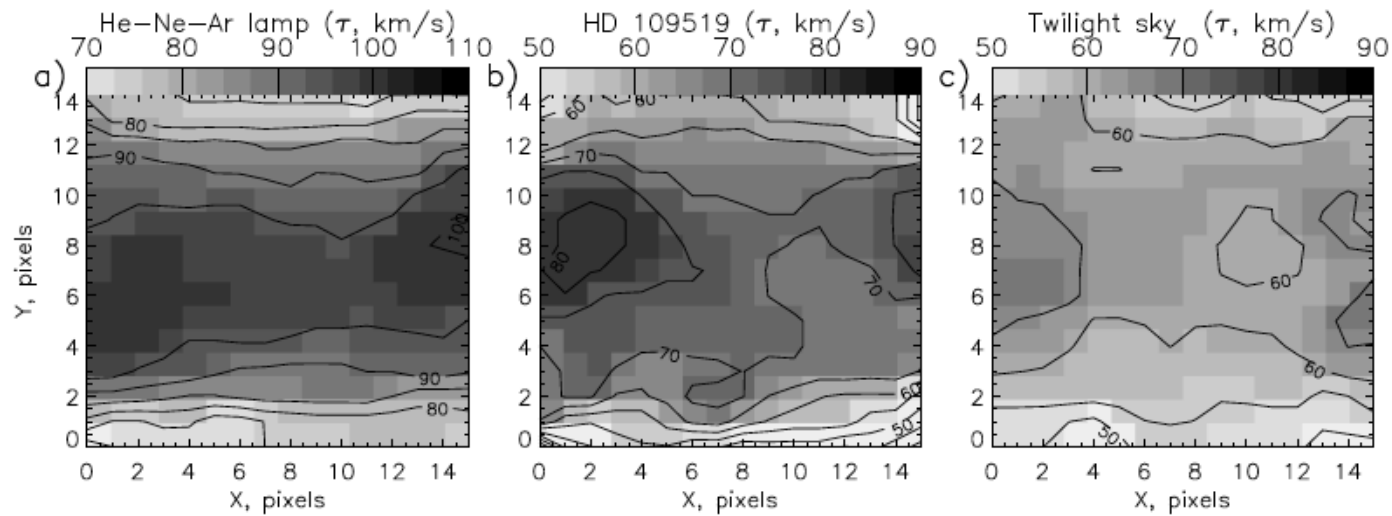
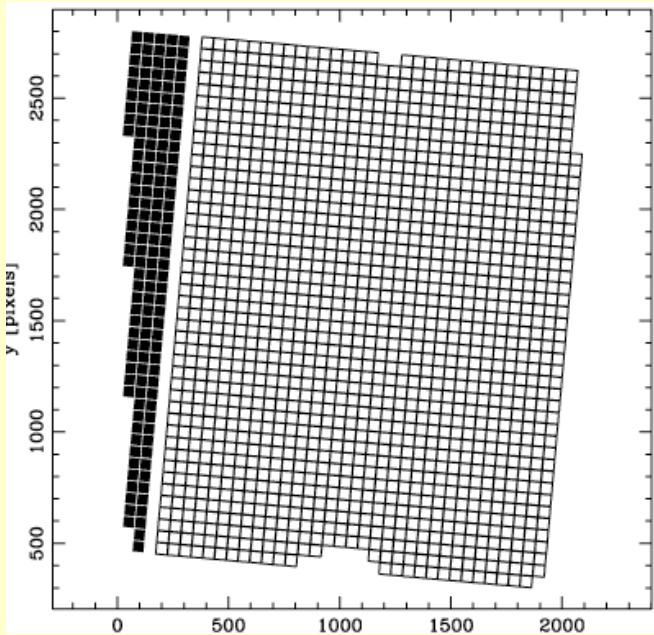
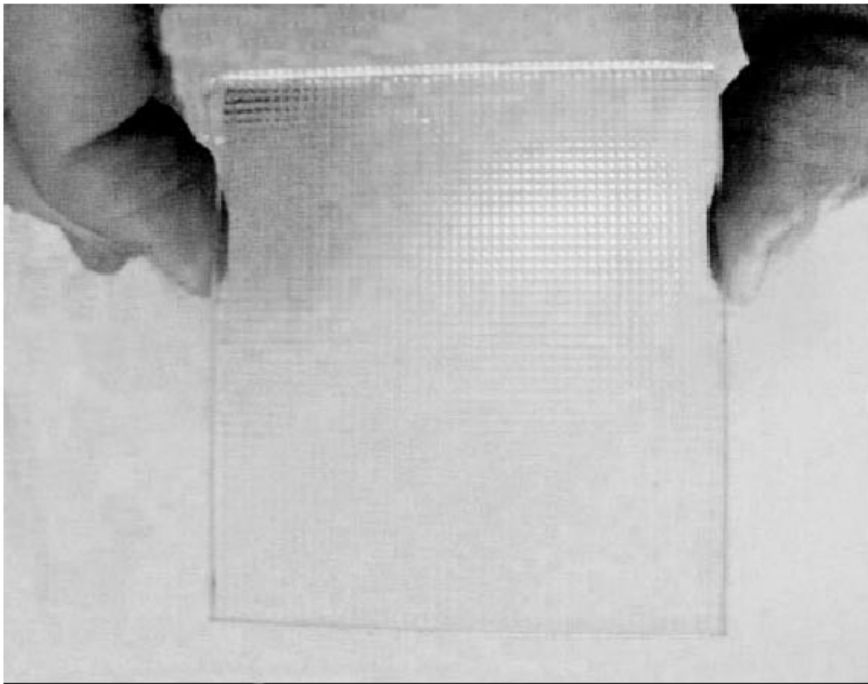


Figure 9: MPFS maps for the galaxy NGC 2950. a — the continuum image (the surface brightness logarithm

SAURON: Spectroscopic Areal Unit for Research on Optical Nebulae

44x35 квадратных линз, 0.94"



WHT 4.2-m
Bacon et al (2001)

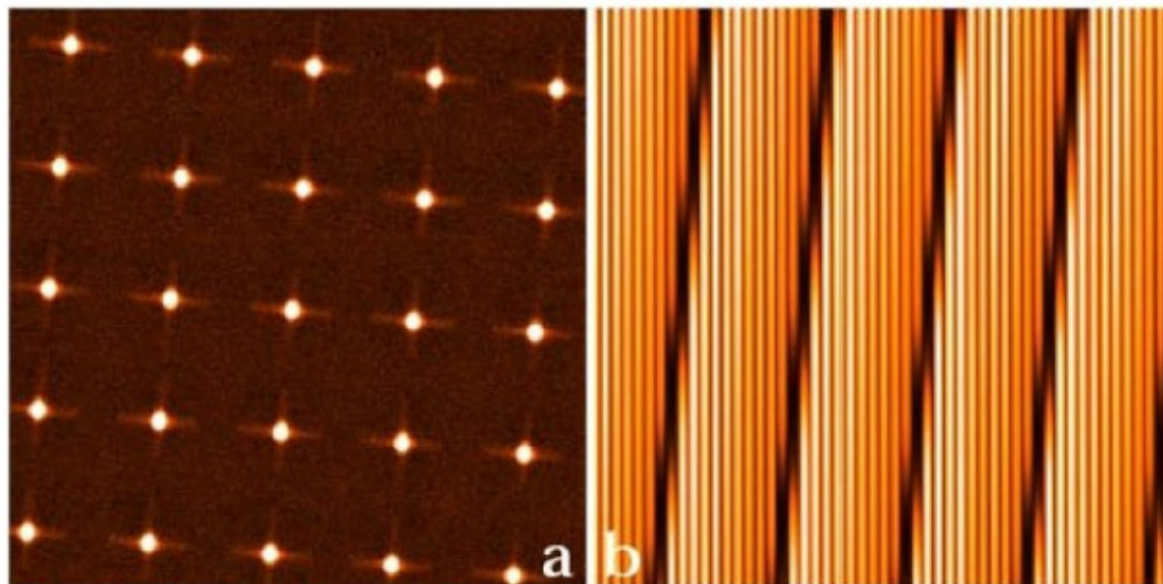
Table 1. Current specification of SAURON on the WHT.

	HR mode	LR mode
Spatial sampling	0".27	0".94
Field of view	9" × 11"	33" × 41"
Spectral resolution (FWHM)	2.8 Å	3.6 Å
Instrumental dispersion (σ_{inst})	90 km s ⁻¹	105 km s ⁻¹
Spectral sampling	1.1 Å pix ⁻¹	
Wavelength range	4500–7000 Å	
Initial spectral window	4760–5400 Å	
Calibration lamps	Ne, Ar, W	
Detector	EEV 12 2148 × 4200	
Pixel size	13.5 µm	
Instrument Efficiency	35 per cent	
Total Efficiency	14.7 per cent	

Lens Array - Raw Data

Micro pupil

Continuum



a b

Arc

Galaxy



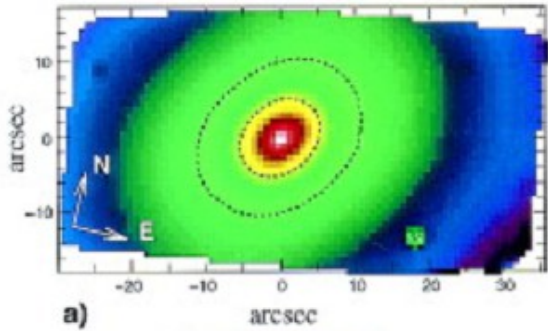
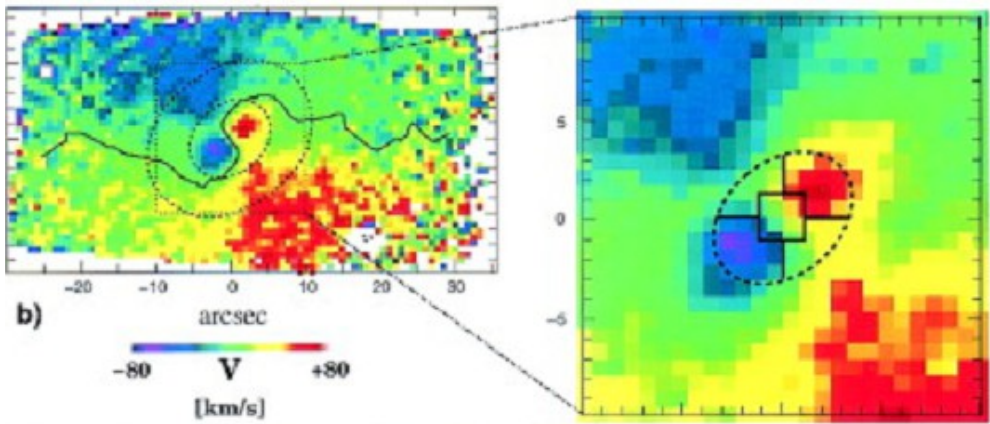
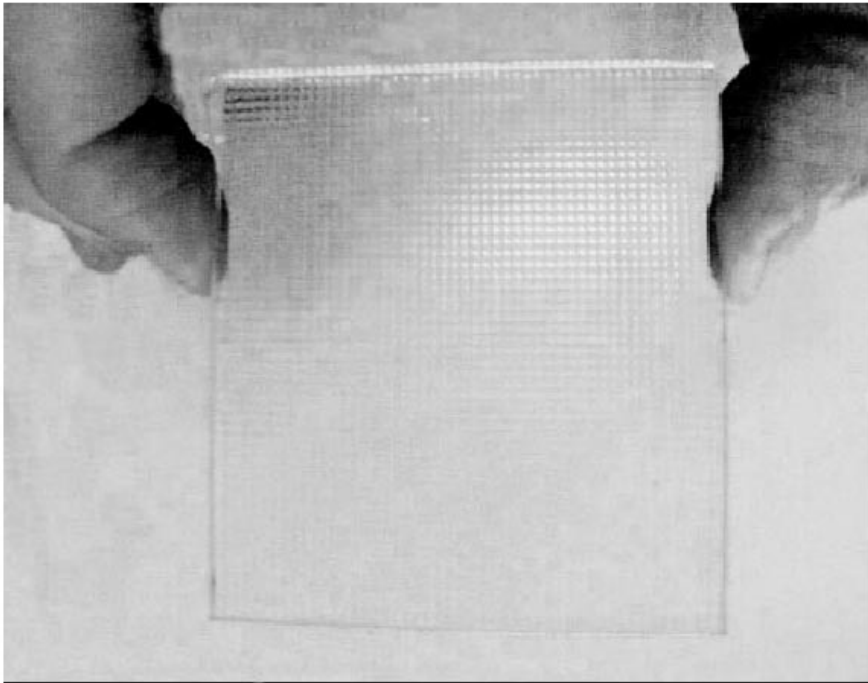
c d

SAURON - WHT



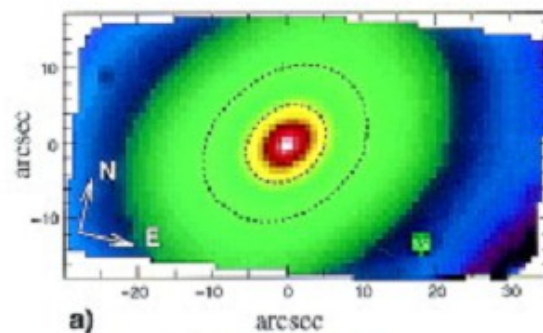
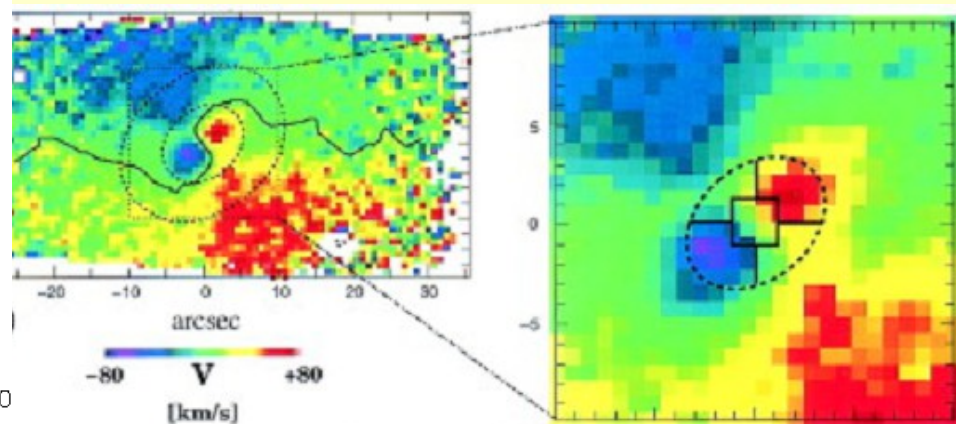
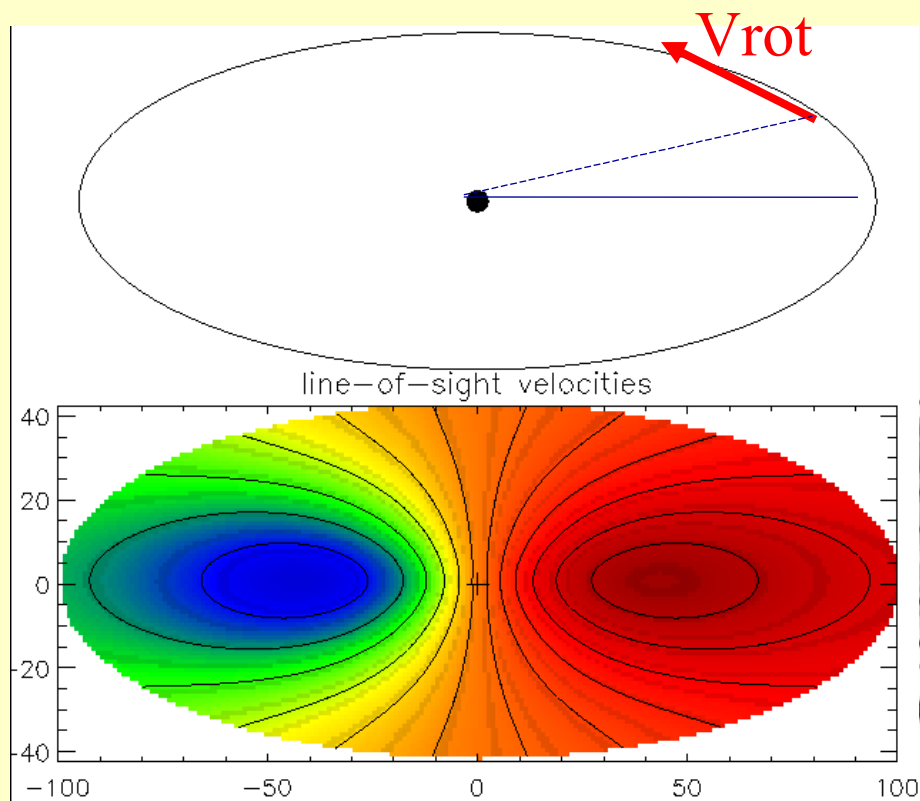
SAURON: Spectroscopic Areal Unit for Research on Optical Nebulae

44x35 квадратных линз, 0.94"



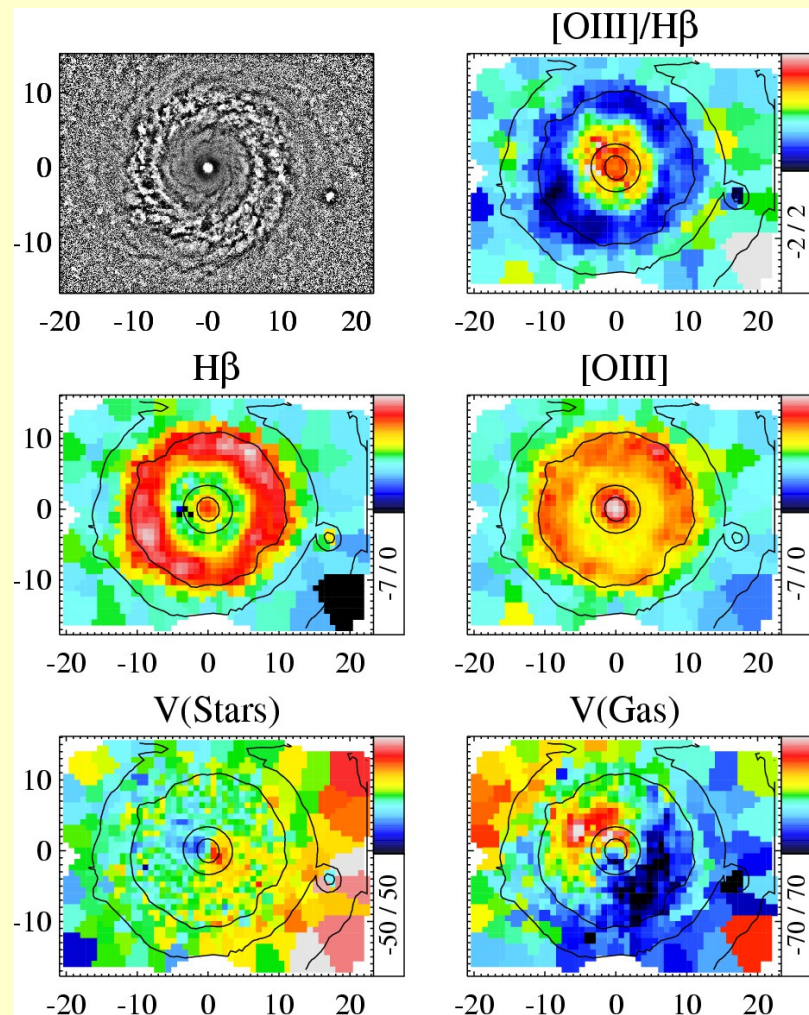
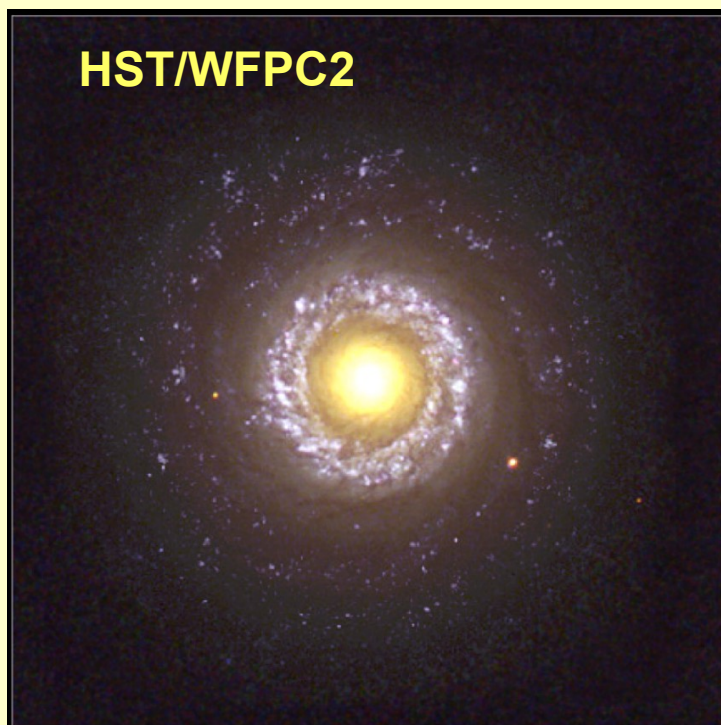
NGC 4365
Davies et al 2001

Поле скоростей вращающегося диска



NGC 4365
Davies et al 2001

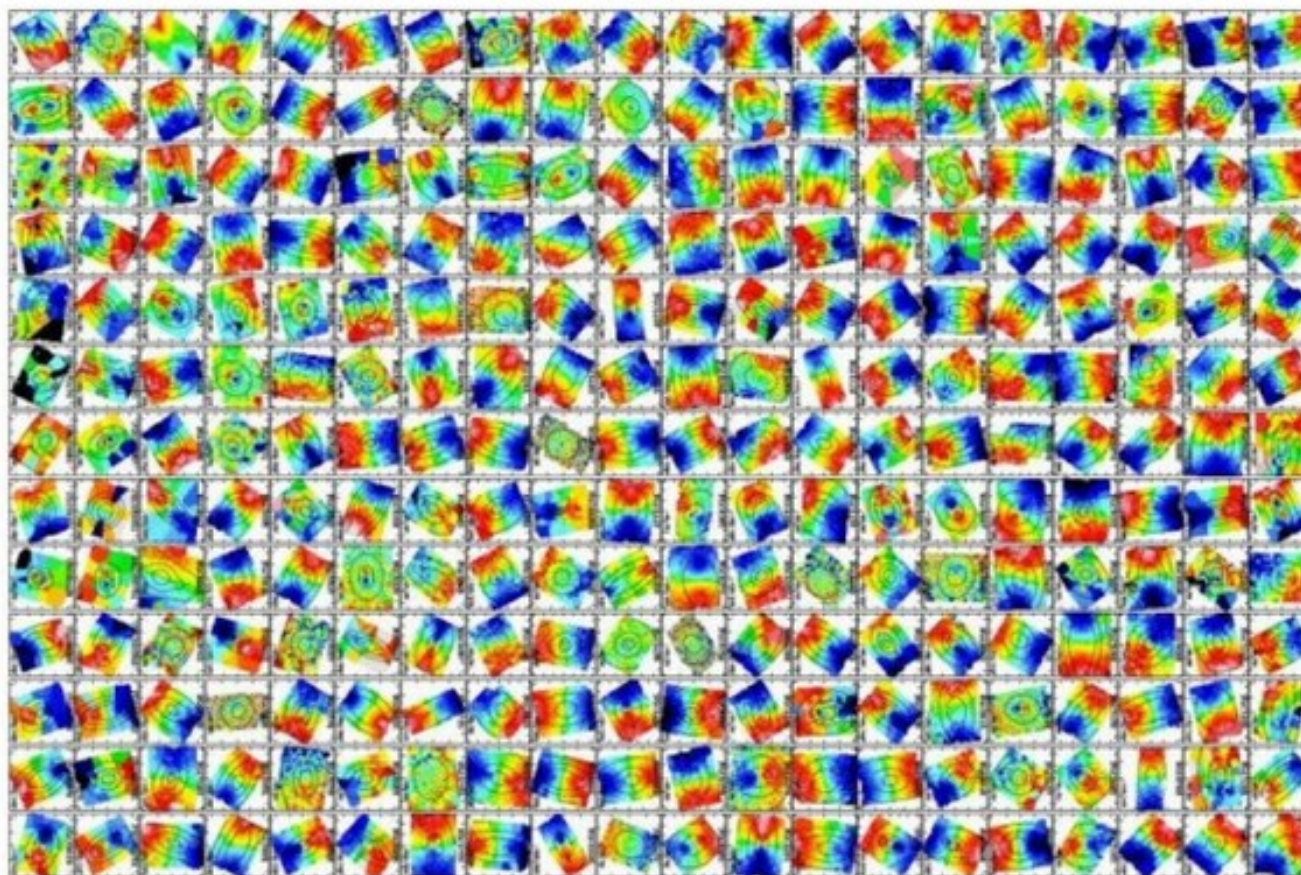
NGC7742: the galaxy with a counter-rotation gaseous disk



de Zeeuw et al. 2002

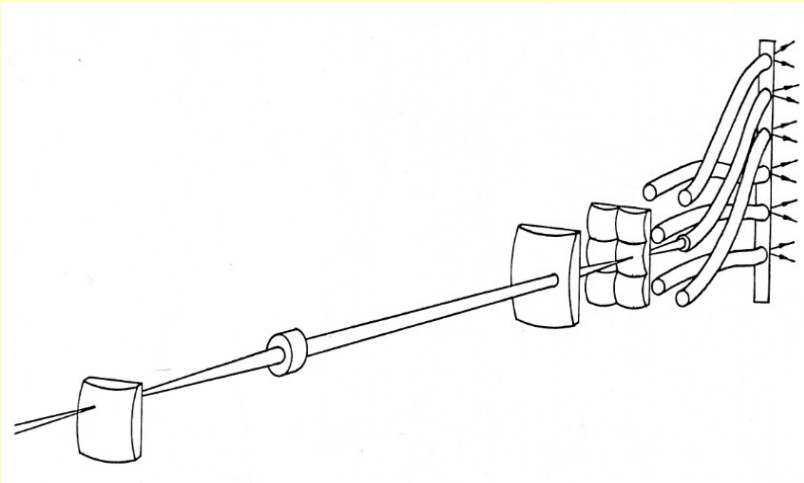
SAURON, ATLAS-3D

Изучение близких галактик ранних типов с IFS (SAURON, MPFS) принципиально изменило наши представления о кинематически выделенных подсистемах в них.



Maps of the observed velocity of the stars in the volume-limited sample of 260 early-type galaxies of the ATLAS3D survey. Red/blue colours indicate stars

80th: Integral-field spectroscopy is coming...



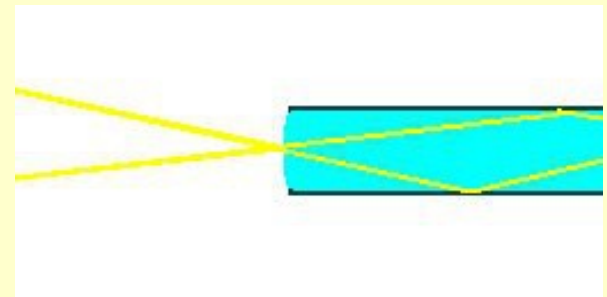
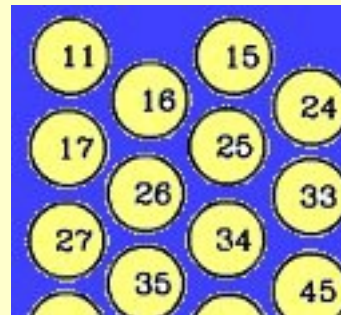
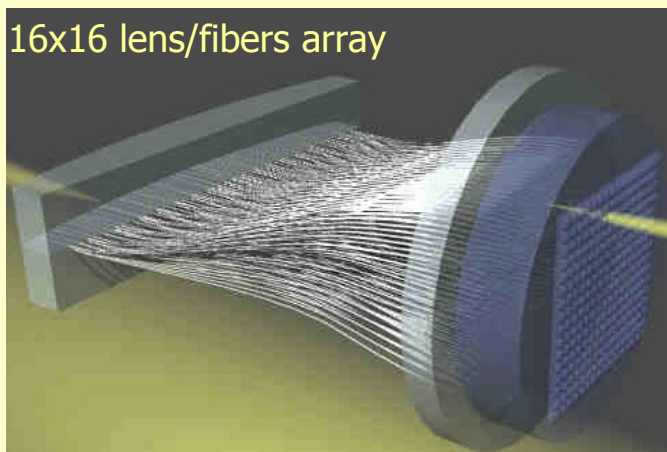
“An Integral Field Spectrograph (IFS) for Large Telescopes”

Georges Courtès 1982 (Proceedings of IAU Colloq. 67, held in Zelenchukskaya, USSR)

Проблемы пучков световолокон:

Multi Pupil Fiber Spectrograph (MPFS): 1. Фактор заполнения:
Afanasiev et al. (1990, 2001)

2. Согласование апертур



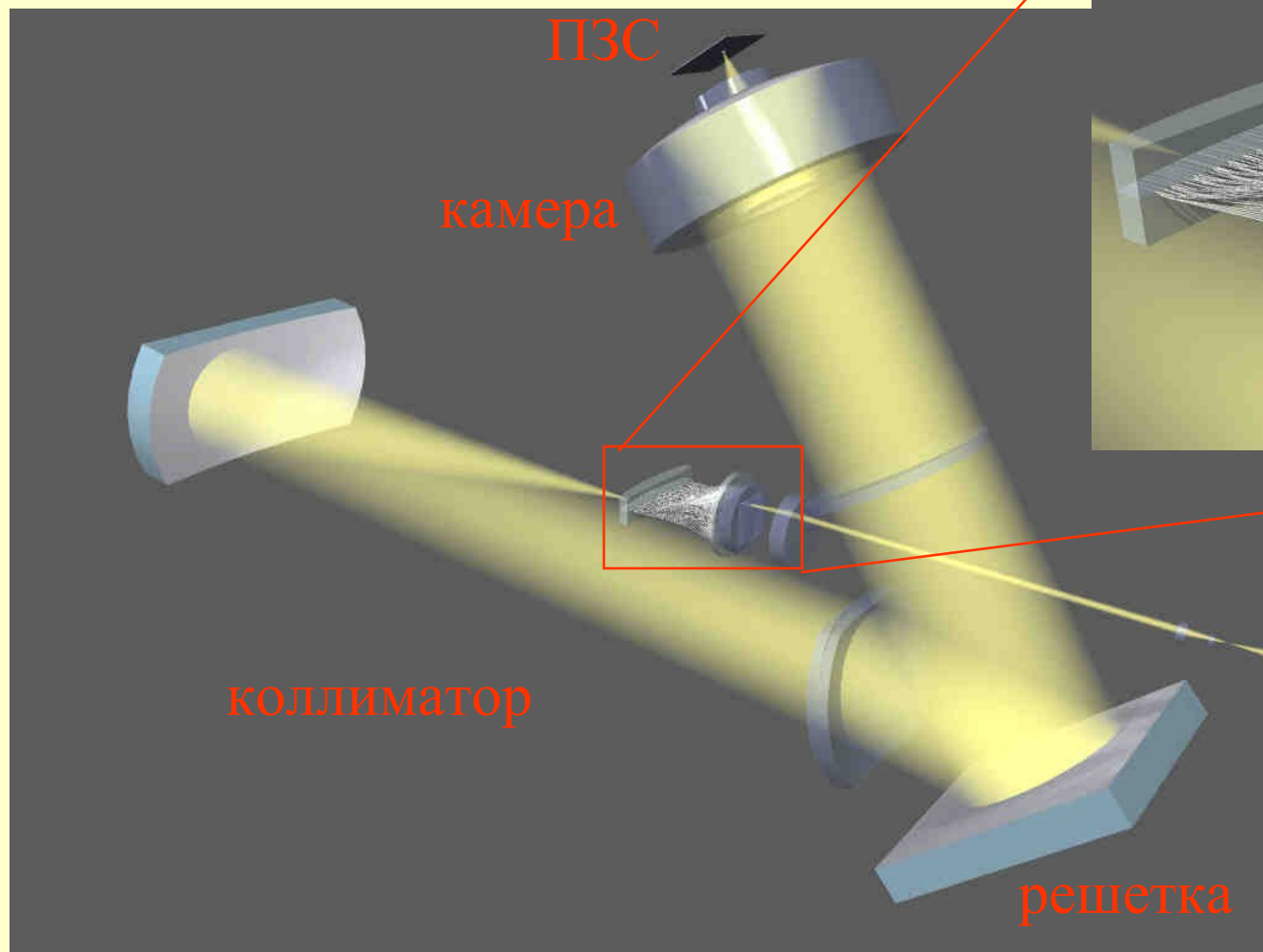
MPFS=Multi Pupil Fiber Spectrograph

Афанасьев и др. (1990, 2001) :

Массив линз 16 x 16 + 15 волокон для фона

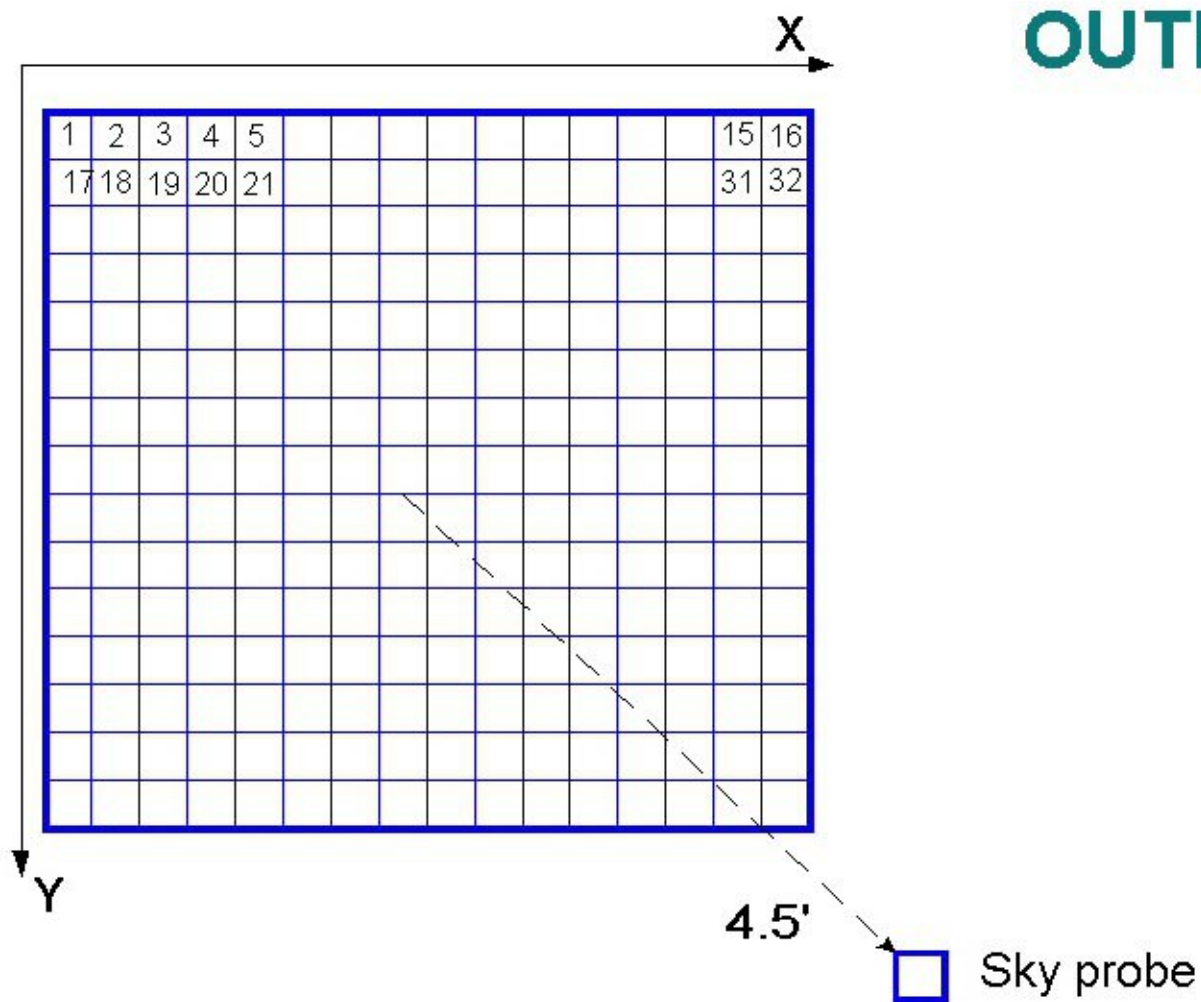
Масштаб : 0.5, 0.75, 1 "/линзу

мультизрачковый блок

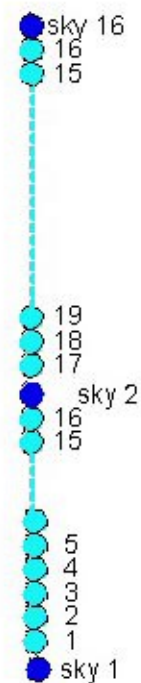


MPFS: fibers locations

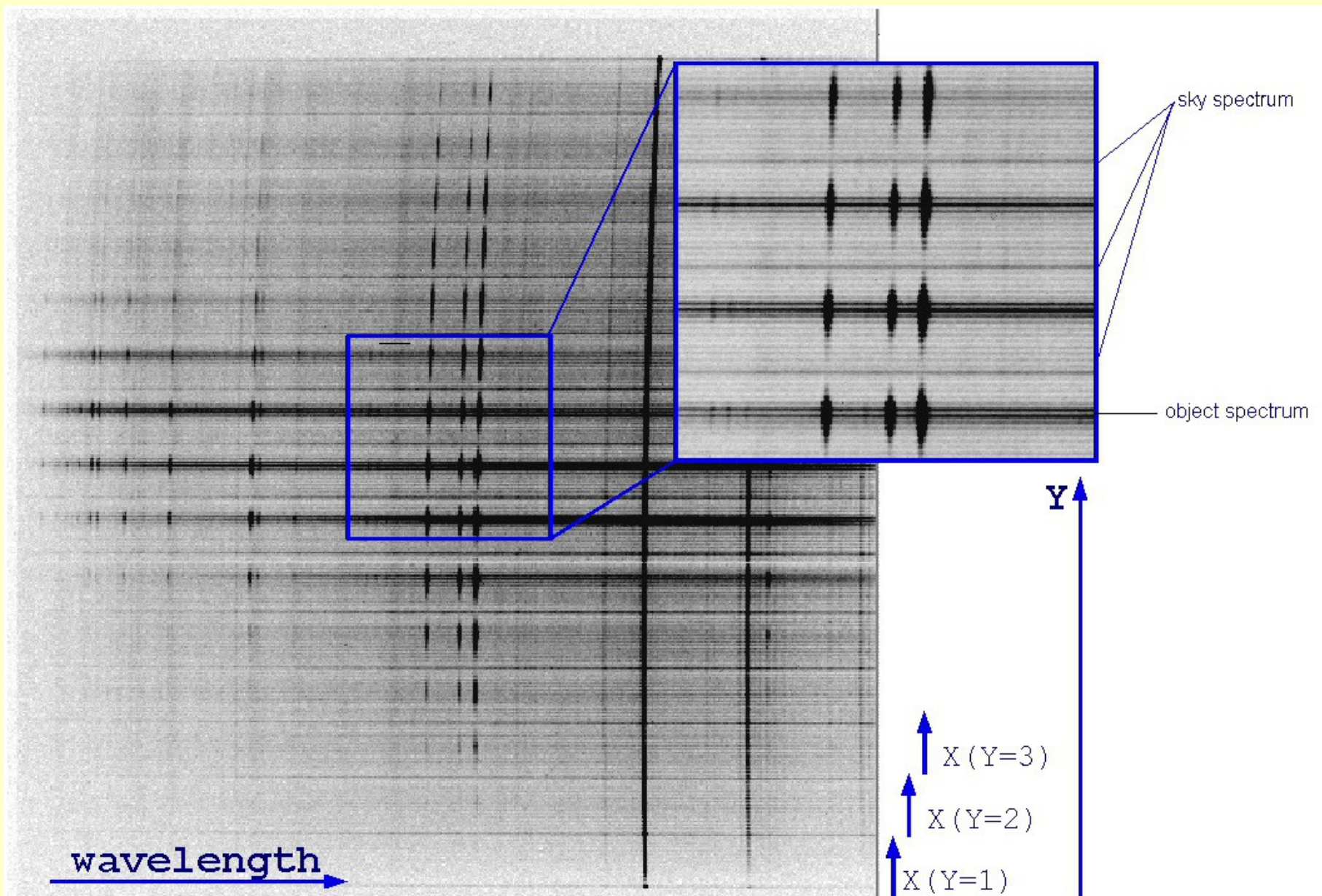
INPUT (SKY-PLANE)



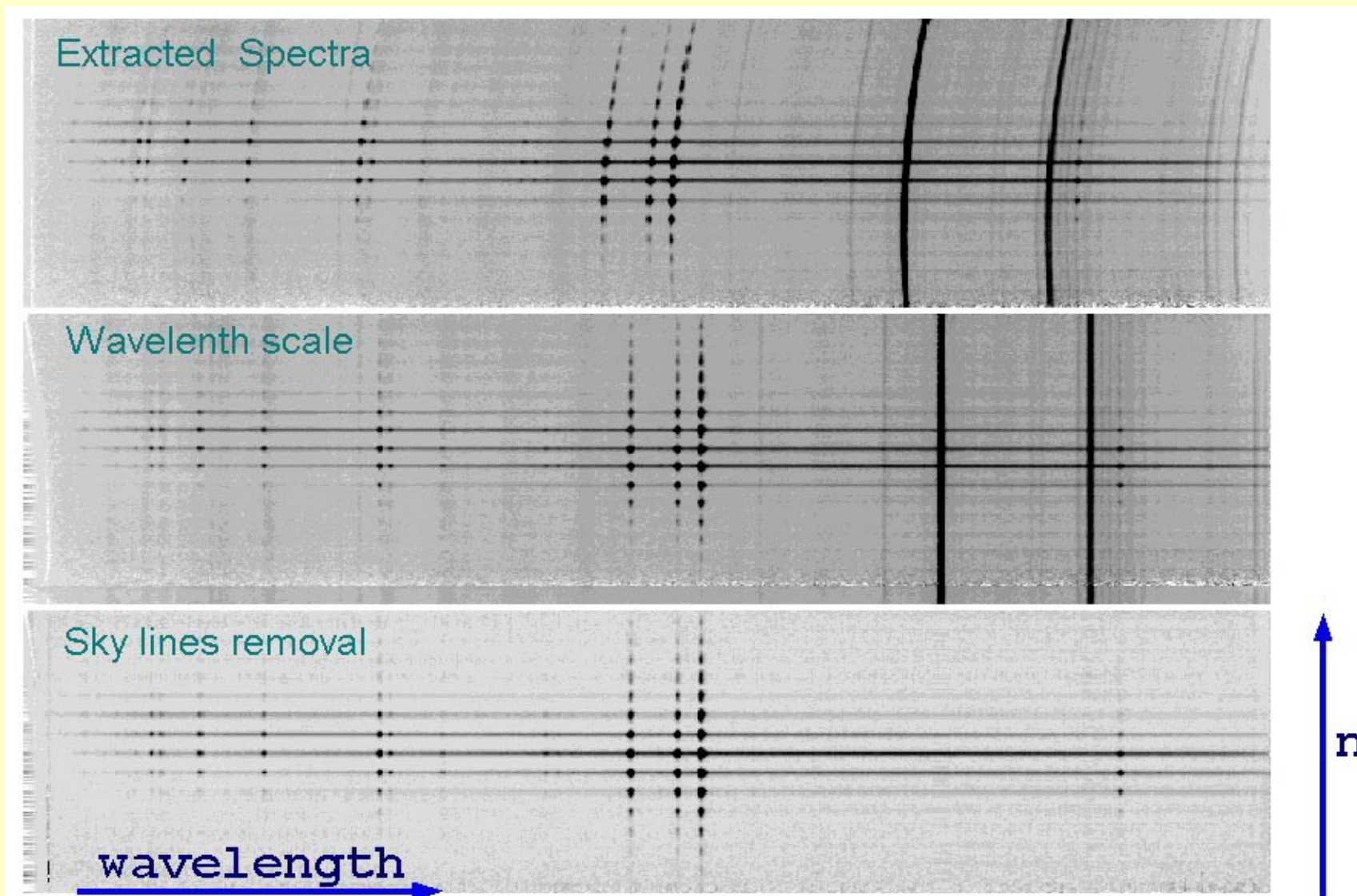
OUTPUT (pseudo-slit)



MPFS: вид спектров

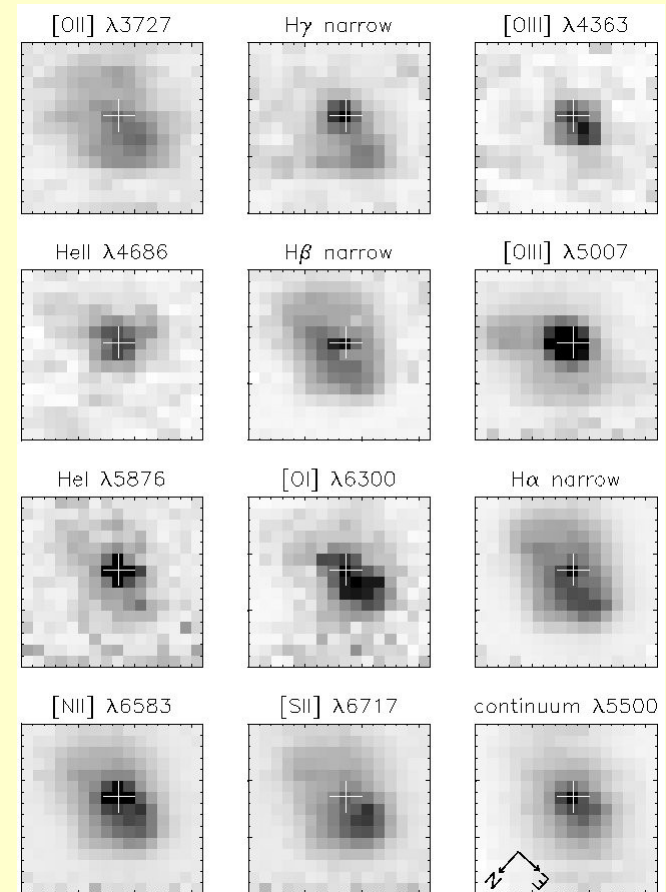
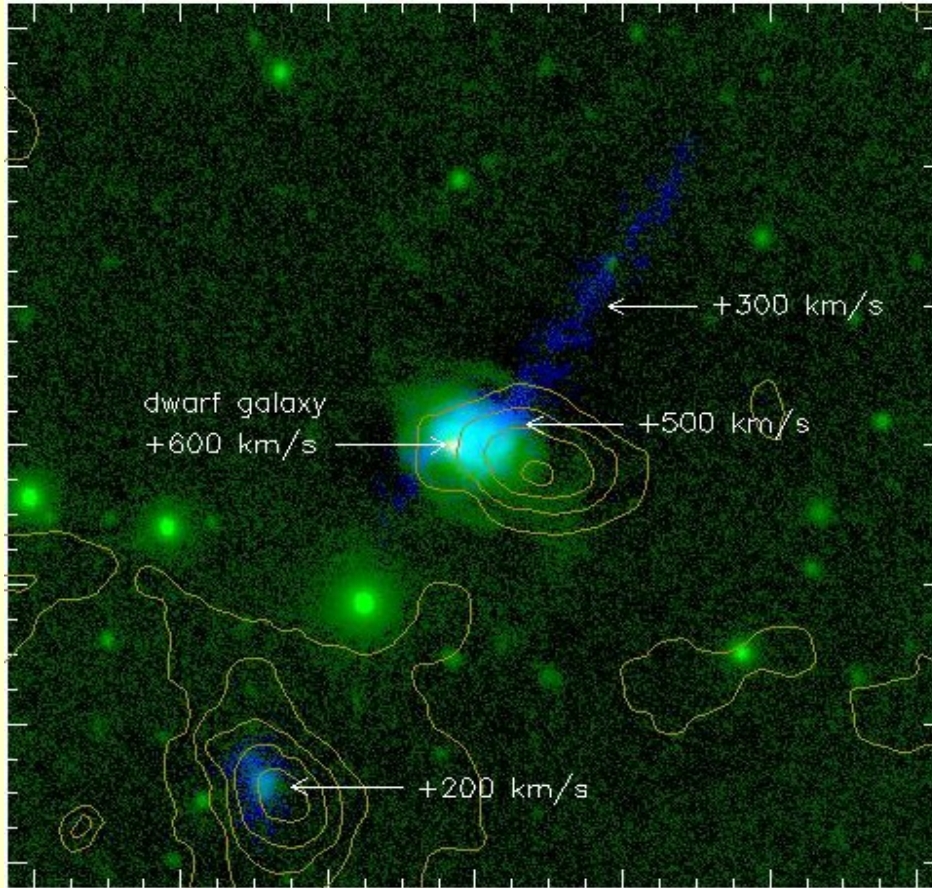


MPFS: обработка данных

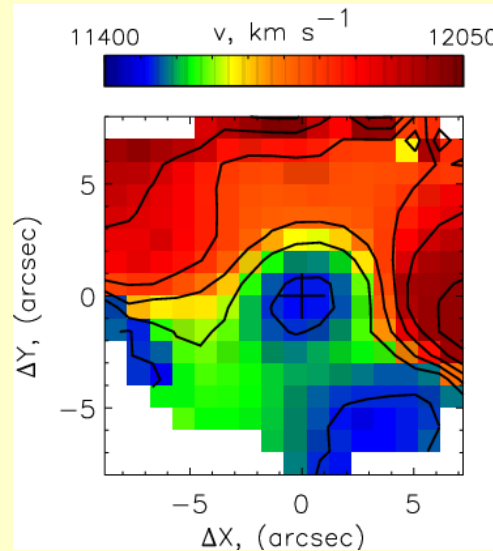
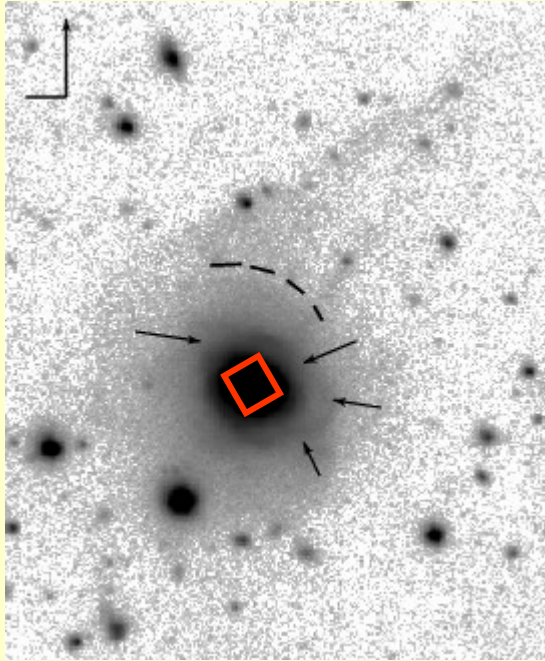


Ionizing gas in Mkn 315

Ciroi et al (2005)

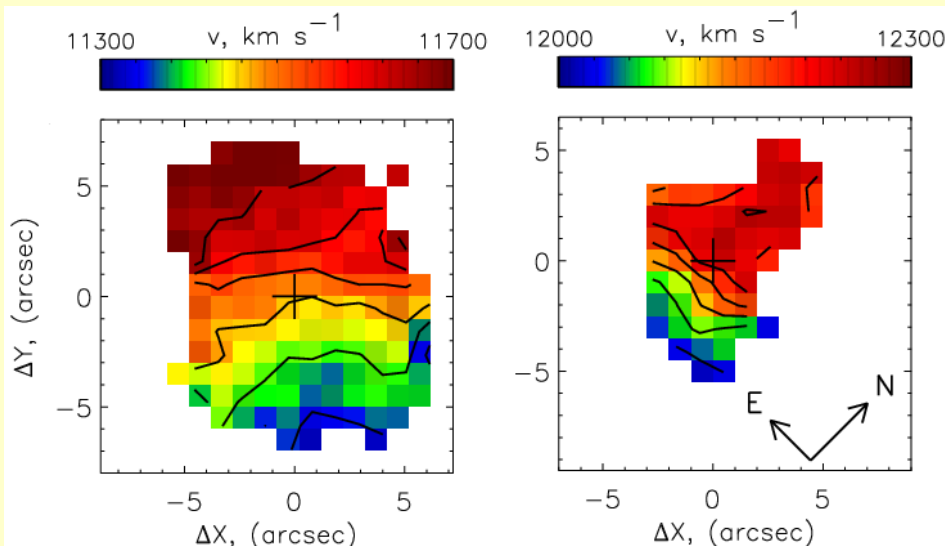


Mrk 315: взаимодействие с карликовым компаньоном



The velocity field of the ionized gas (MPFS):

non-regular rotation
nuclear outflow from AGN



Analysis of the stellar kinematics clearly distinguishes in LOSVD two independently rotating disks separated on systemic velocities on 600 km/s .
(Ciroi et al., 2005)

Противовращение газ-звезды

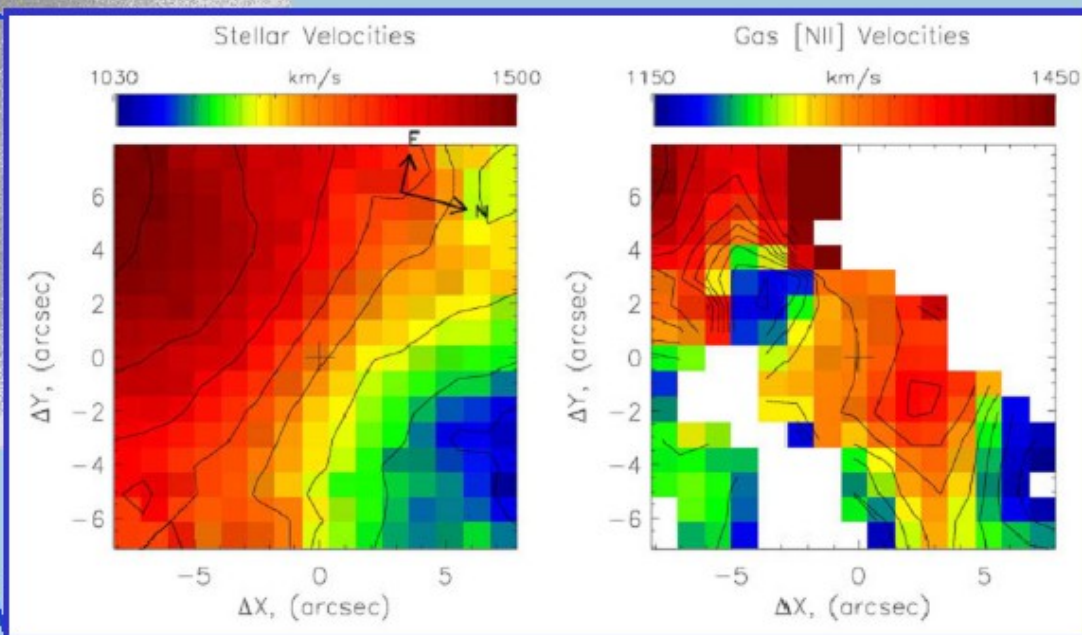
NGC 3945

In the circumnuclear disk stars have a regular rotation, but the ionized gas rotates in the apposite direction.

Velocity fields of stars and gas (MPFS data)

V-band image (SCORPIO)

Moiseev et al. (2004)

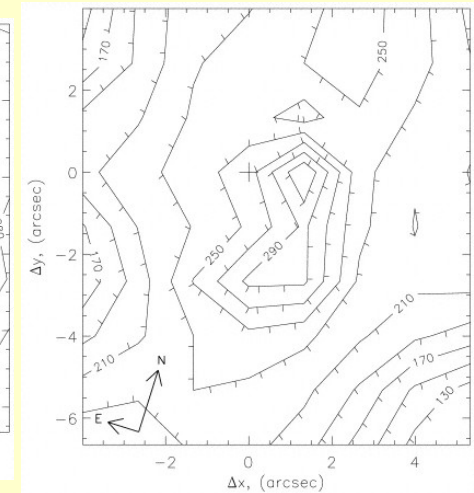
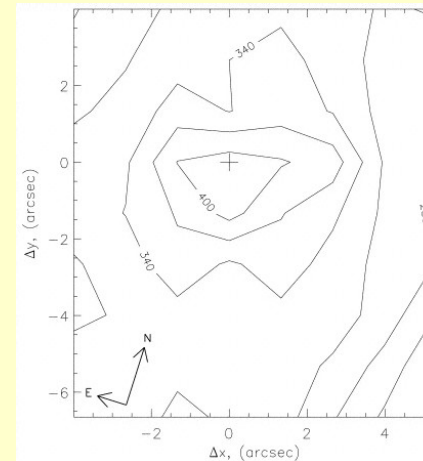
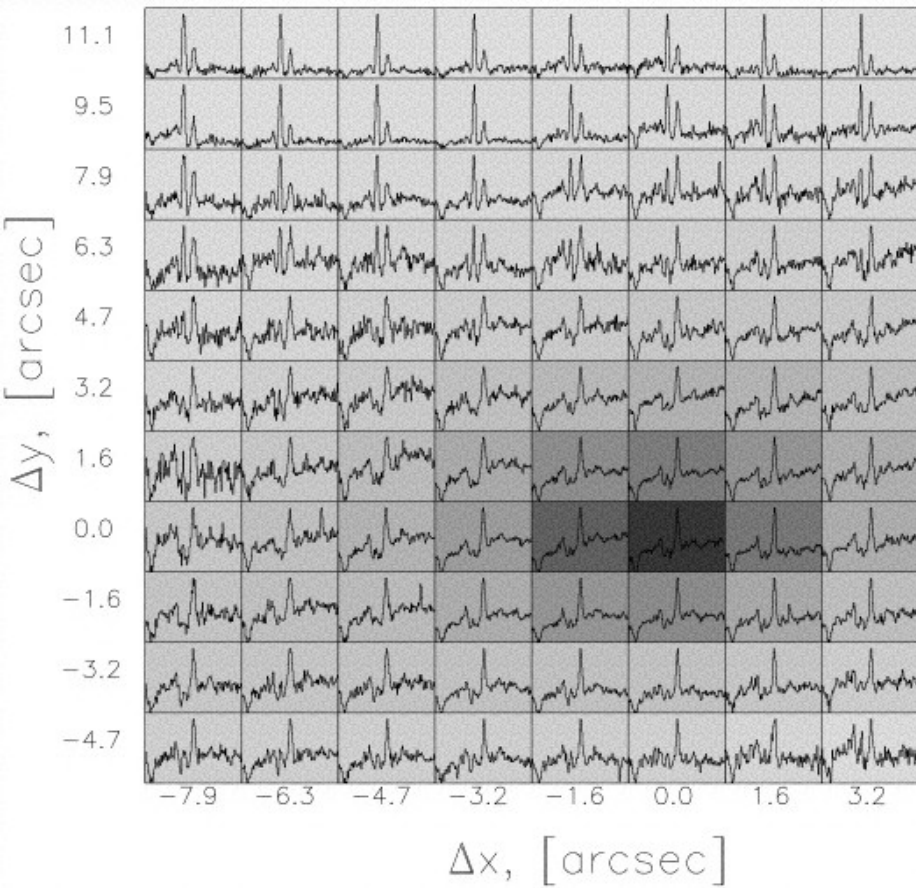


This is probably attributable to a merger of an accreted gaseous cloud with the corresponding direction of angular momentum.

MPFS: NGC 7331

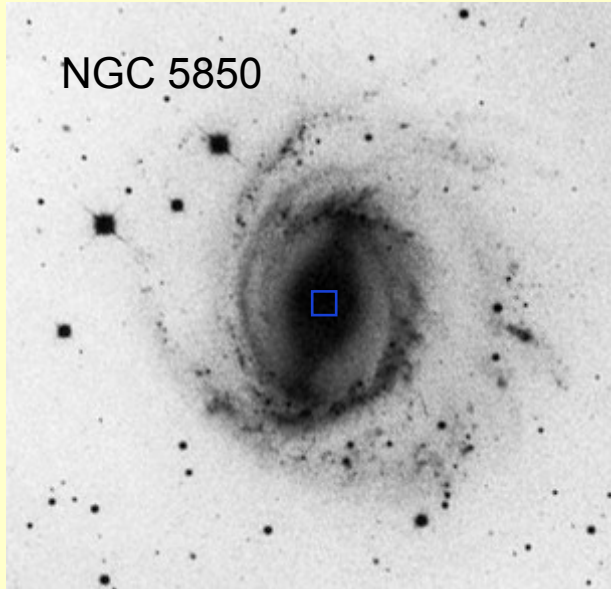
Химически и динамически выделенные ядра
(подробности – следующая лекция)

Сильченко. (1999)



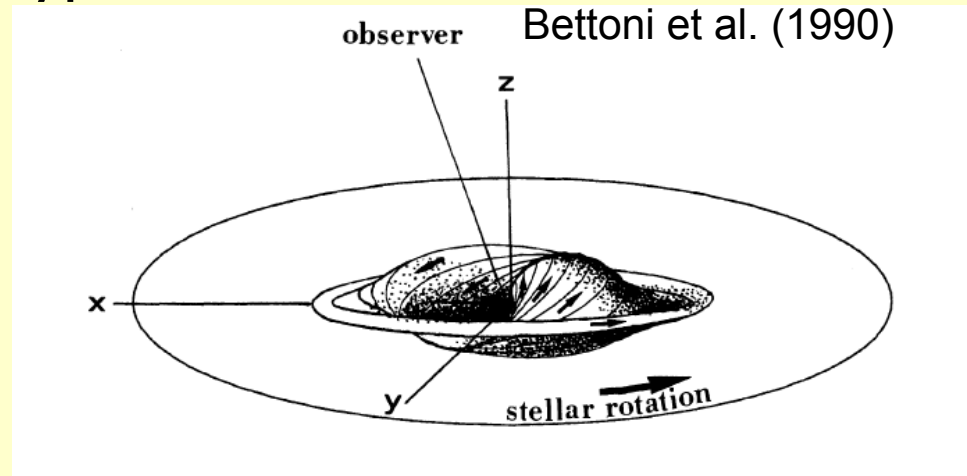
*Карты индексов металличности:
Mgb и <Fe>*

Внутренние полярные структуры



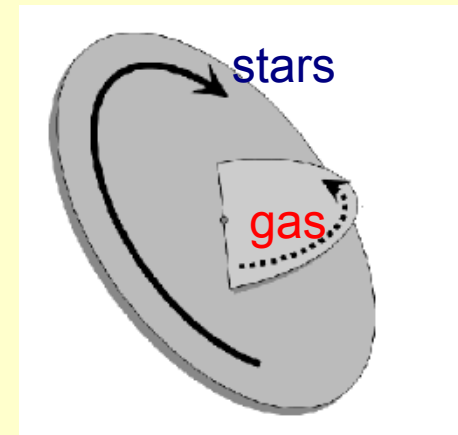
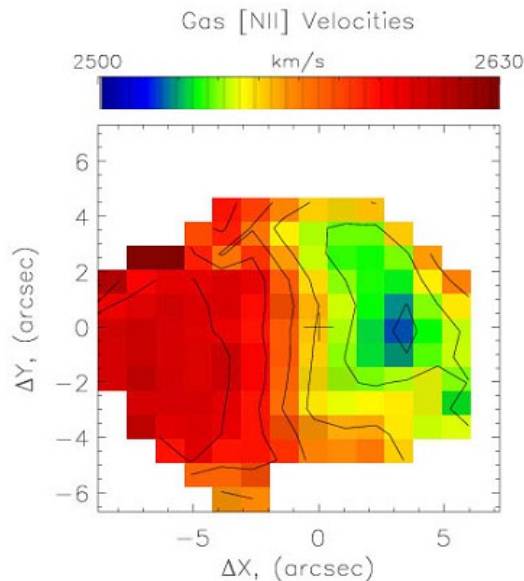
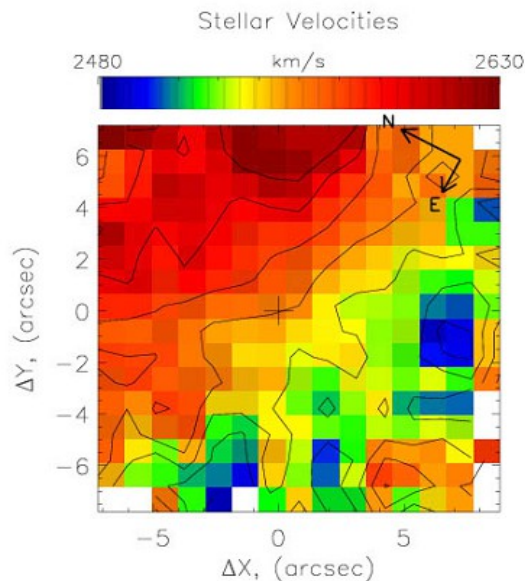
NGC 2217

Bettoni et al. (1990)



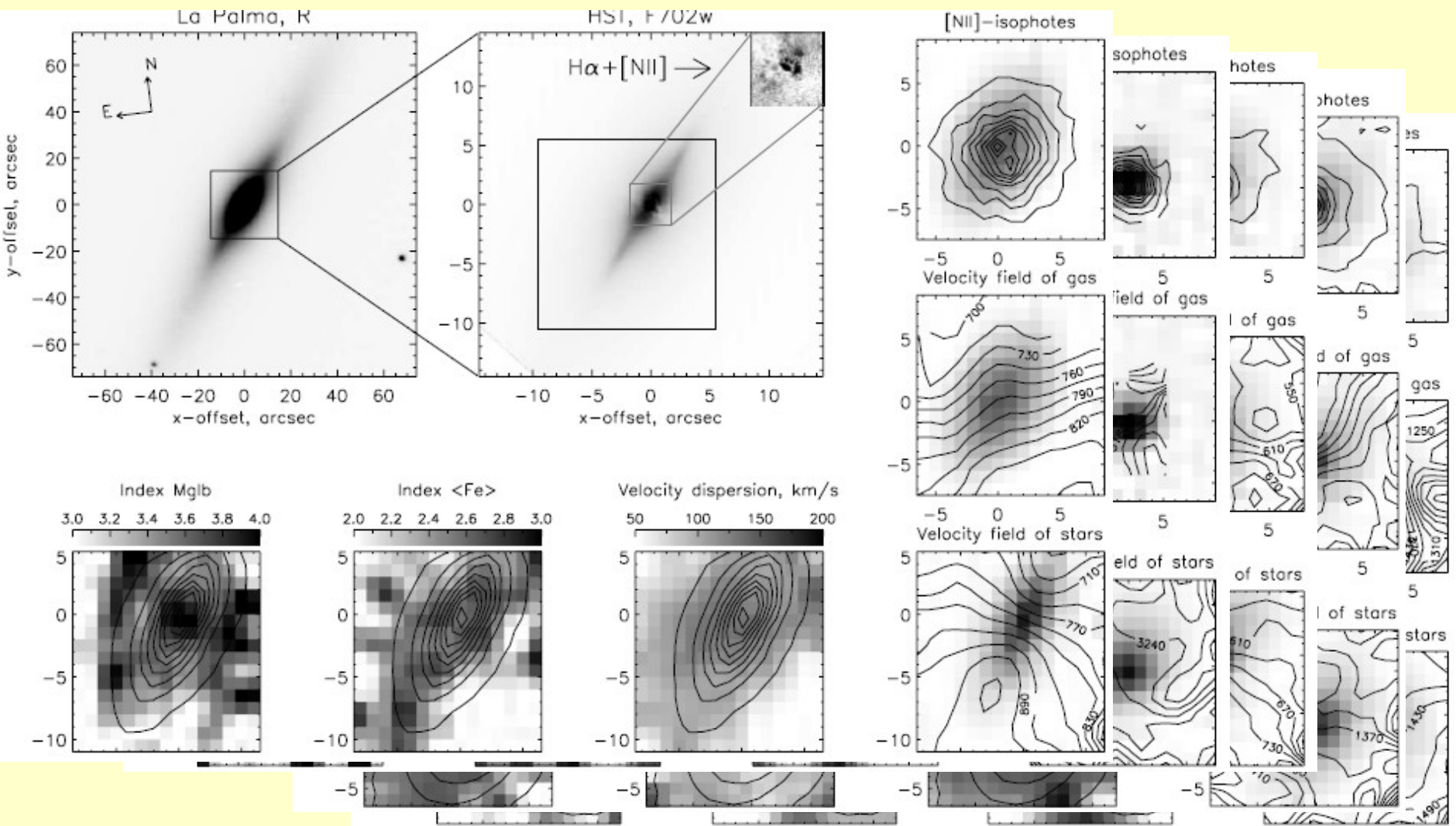
Silchenko et al. 1997: Nuclear polar ring in NGC 2841

Silchenko & Afanasiev 2000: NGC 7217



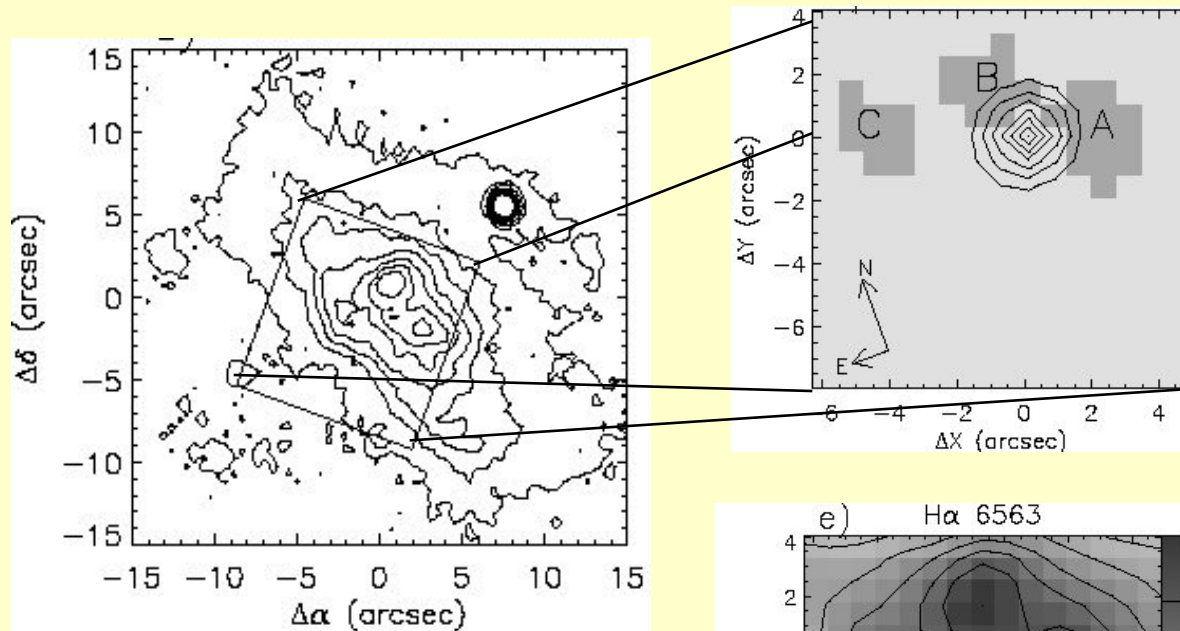
Moiseev et. (2004)

2D kinematics of S0 galaxies with circumnuclear dust lanes



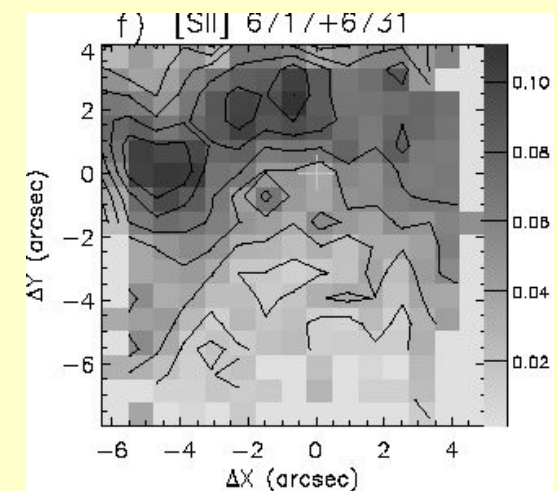
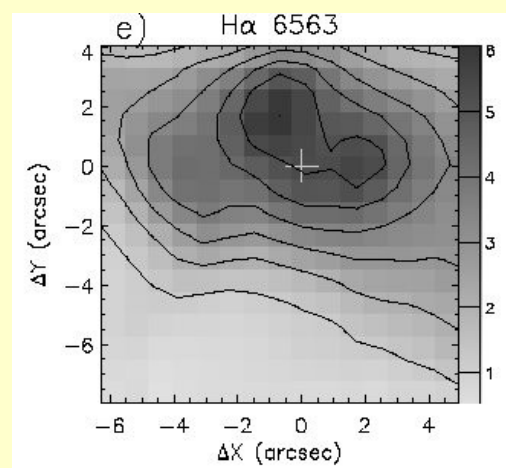
Sil'chenko & Afanasiev (2004): MPFS observations of stars and gas kinematics

MPFS: туманность вокруг звезды WR

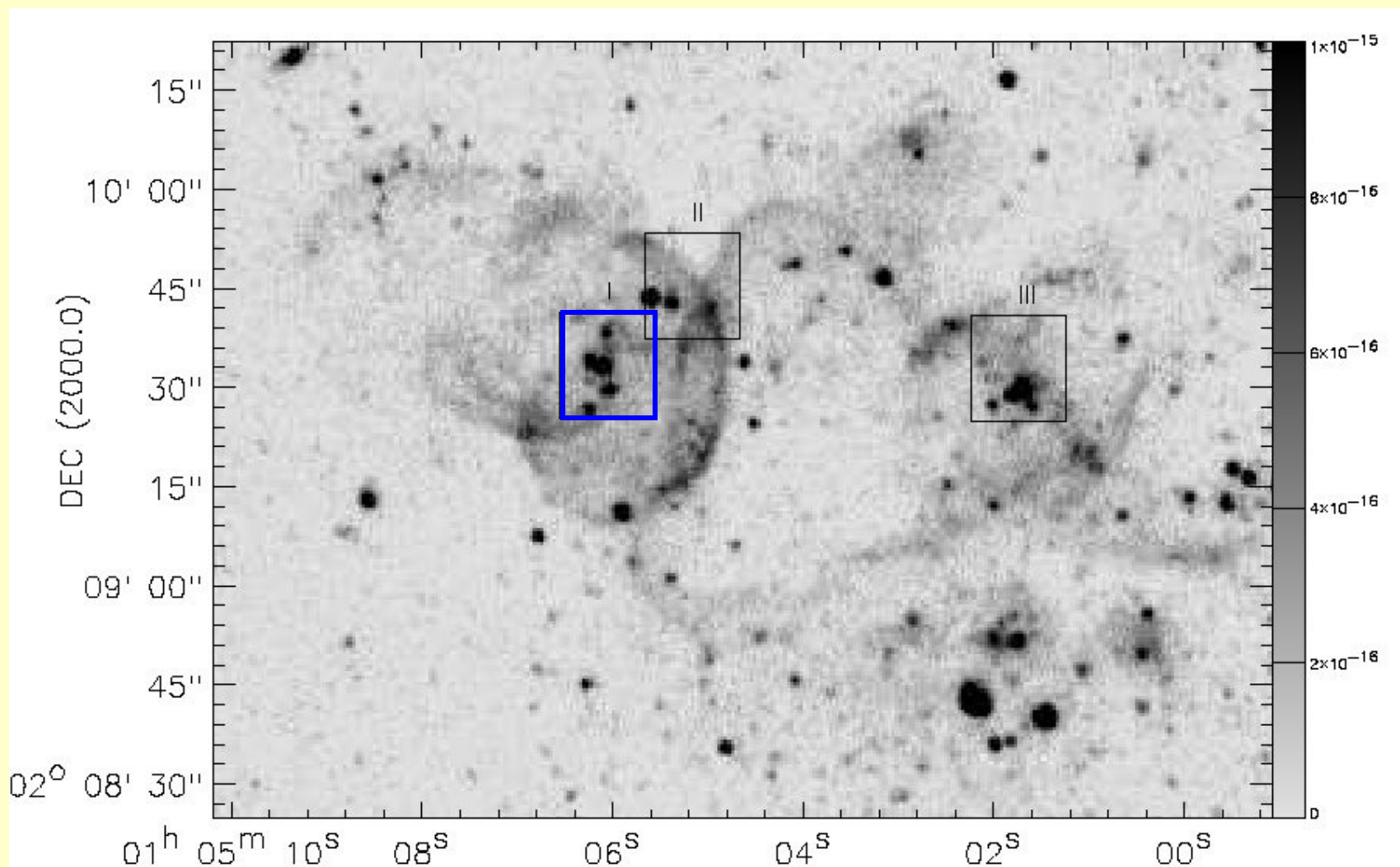


Измерения температуры, плотности и скоростей в отдельных газовых облаках

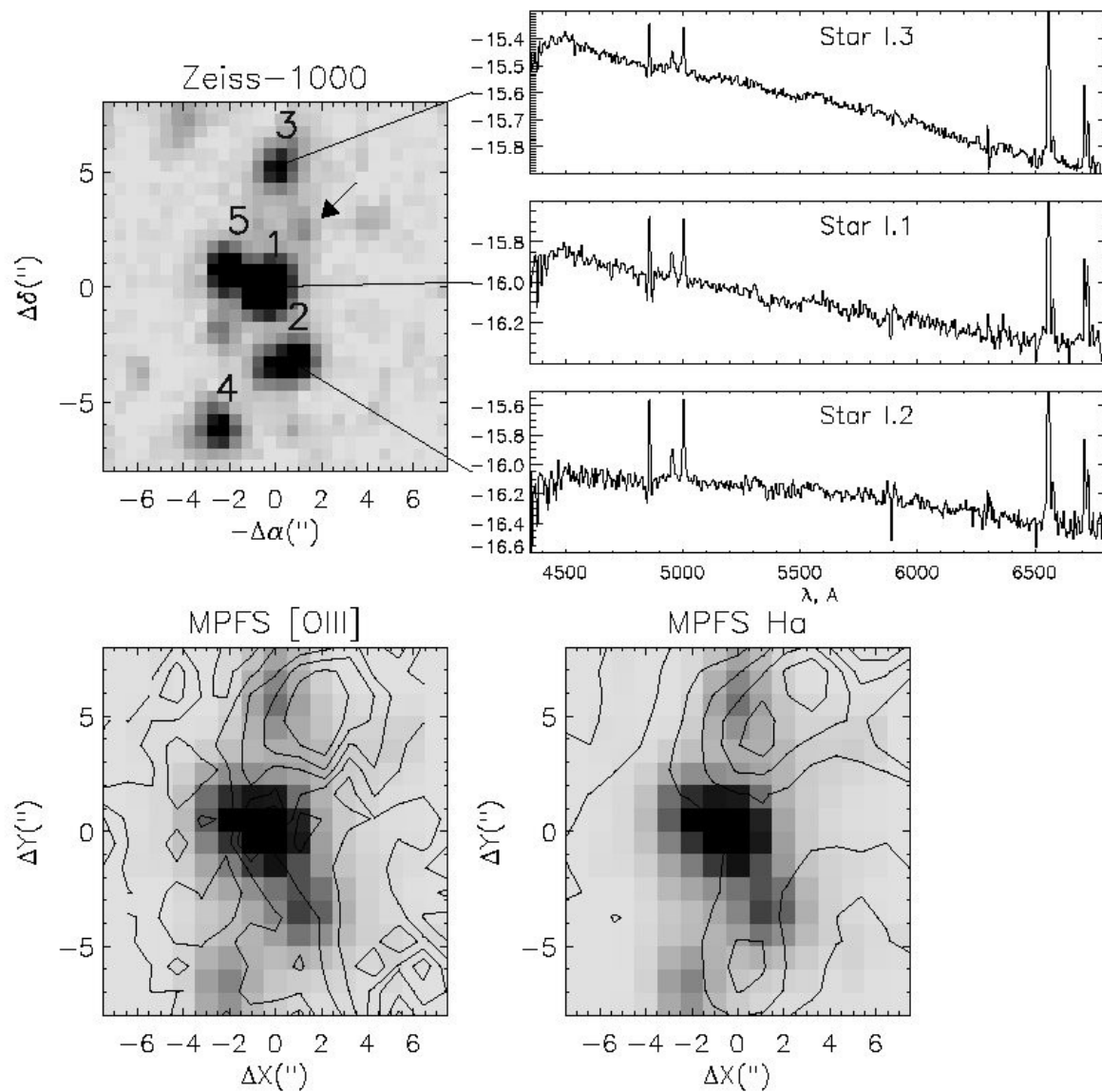
Лозинская и др (2001)



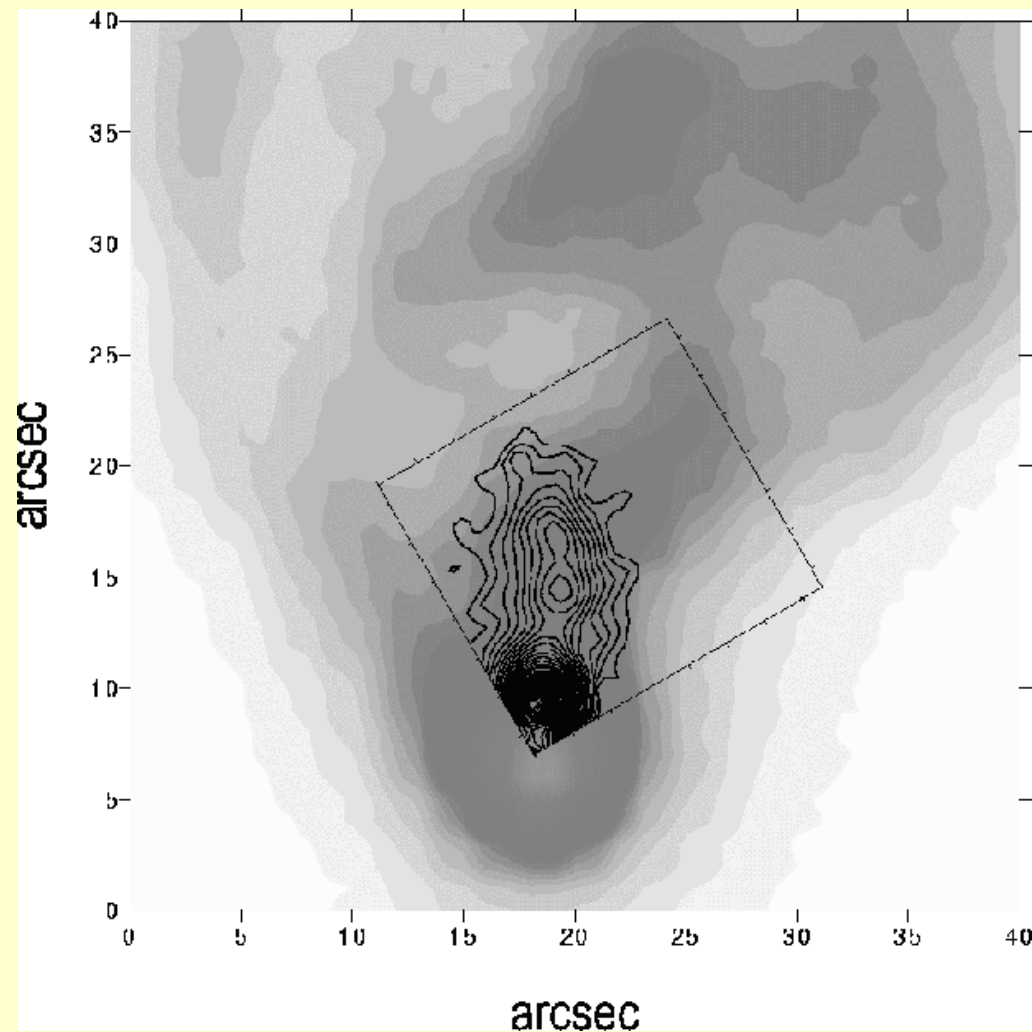
MPFS: ионизованные оболочки в IC1613



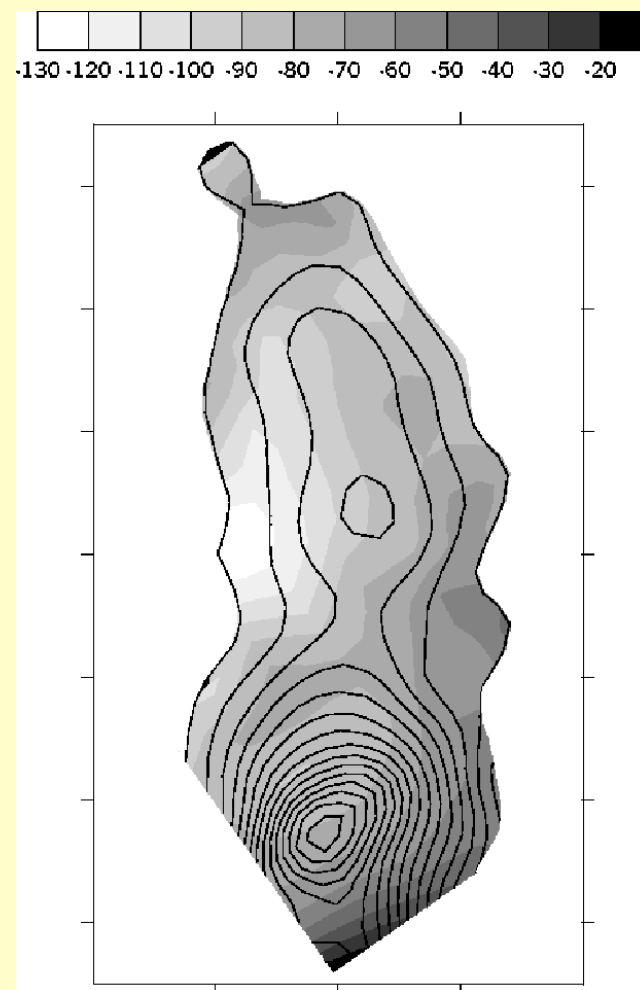
Lozinskaya et al (2002)



MPFS: изогнутый джет из звезды R Mon

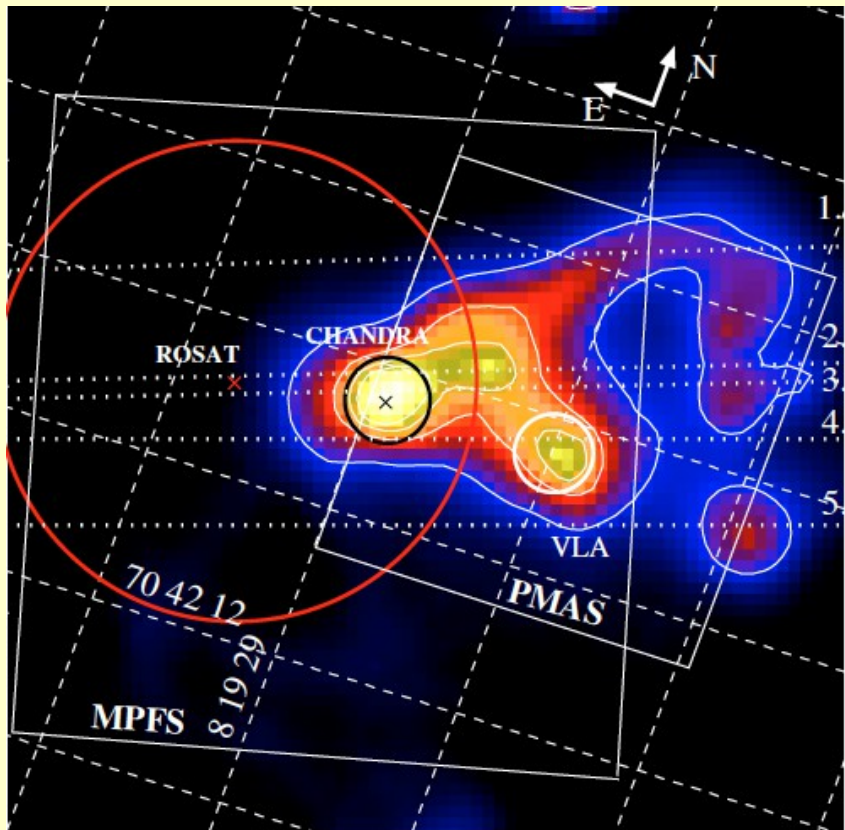


Поле скоростей в [SII]

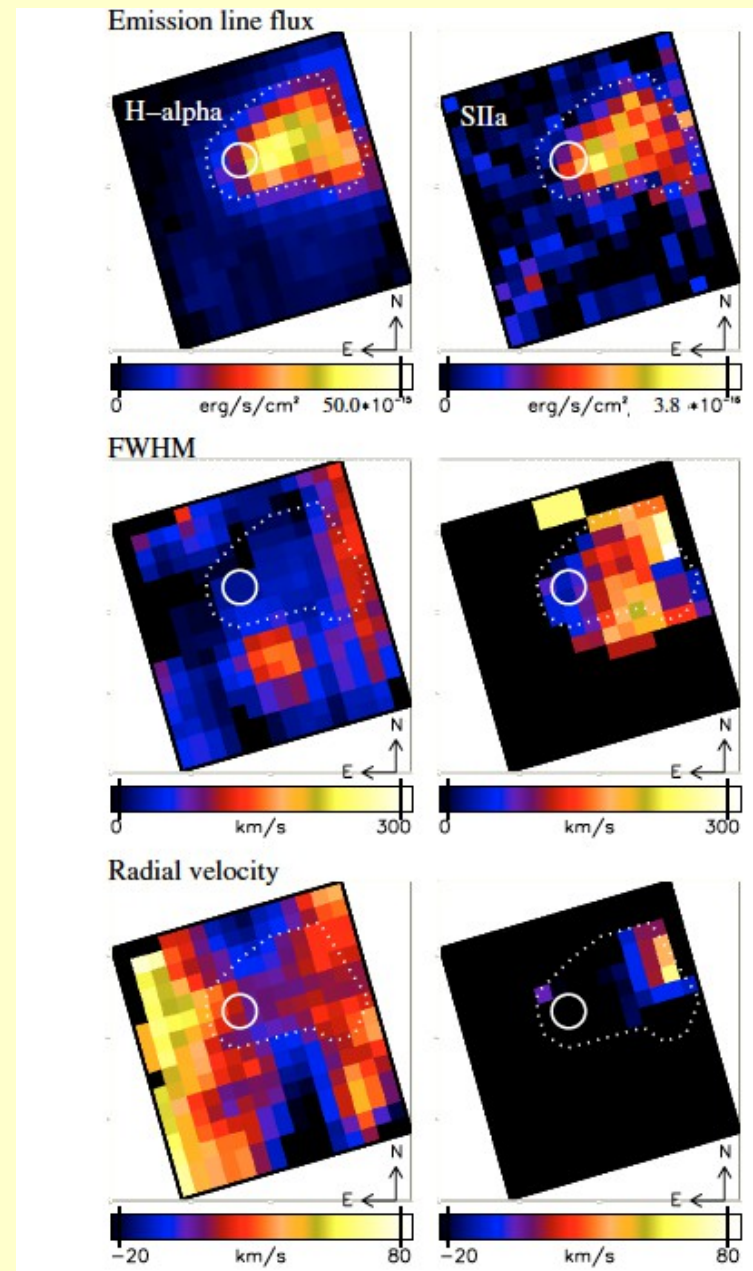


Мовсесян и др (2000)

Holmberg II ULX

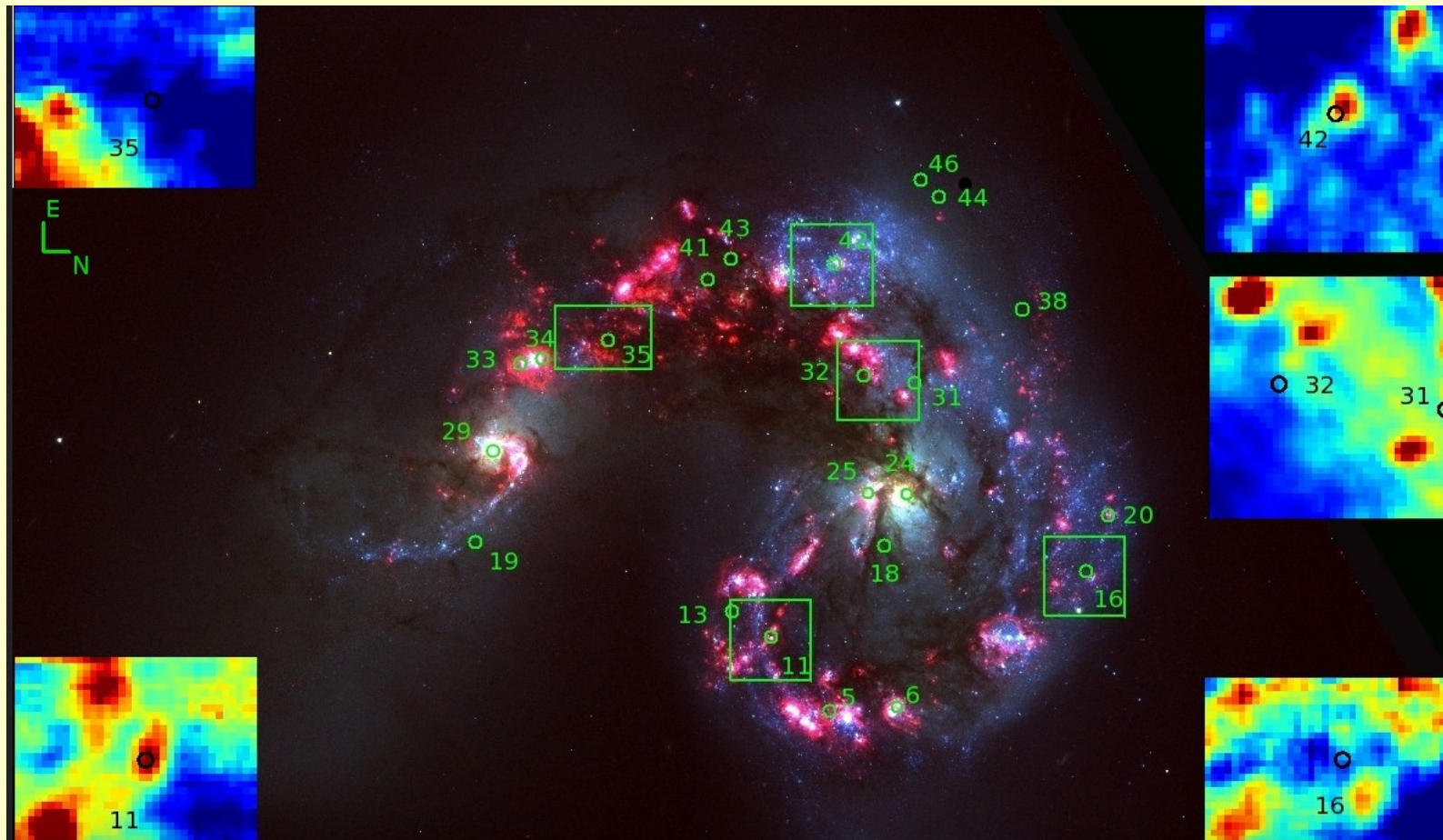


ig. 1. CFHT archival H_α image of the HoII X-1 region. The MPFS OV and the PMAS mosaic FOV are superposed. The small black and



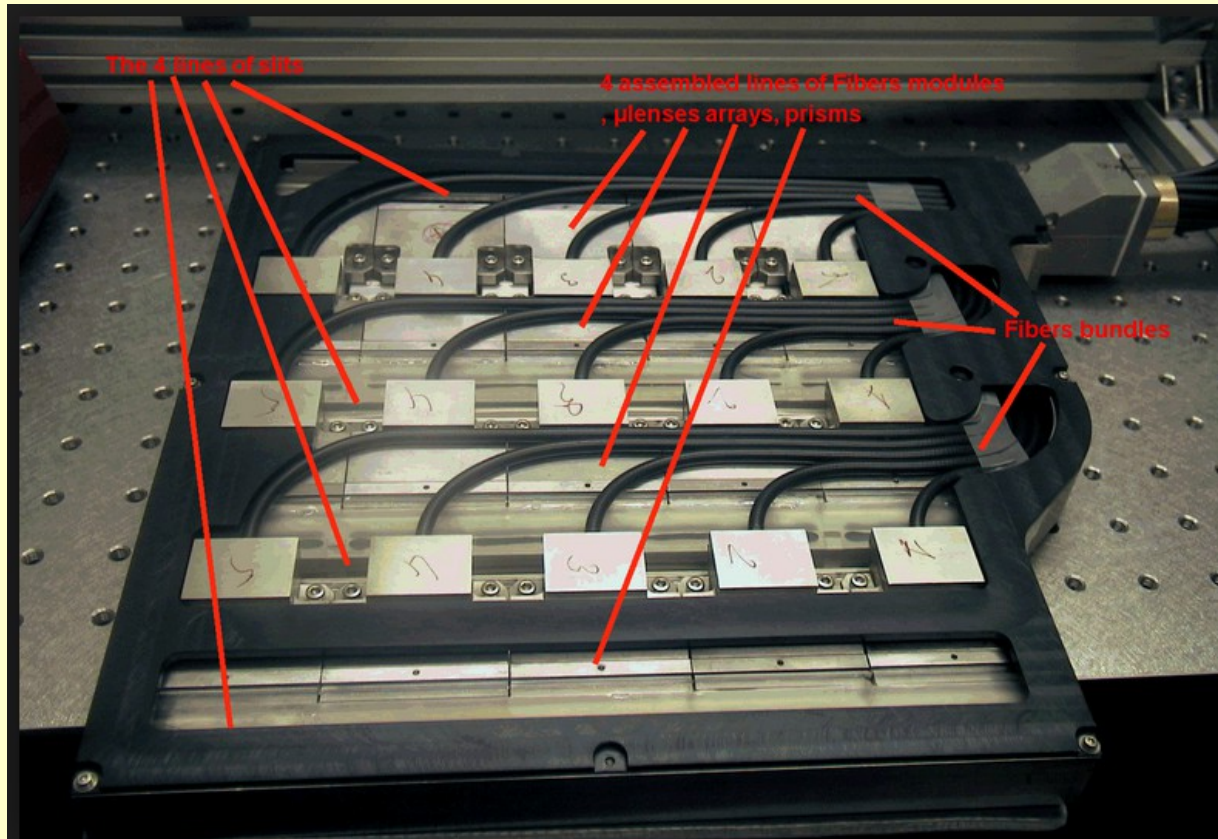
Lehmann, Becker, Fabrika et al 2005

VIMOS: ультраяркие рентгеновские источники



Poutanen, Fabrika, Valeev, Sholukhova, Greiner (2013)

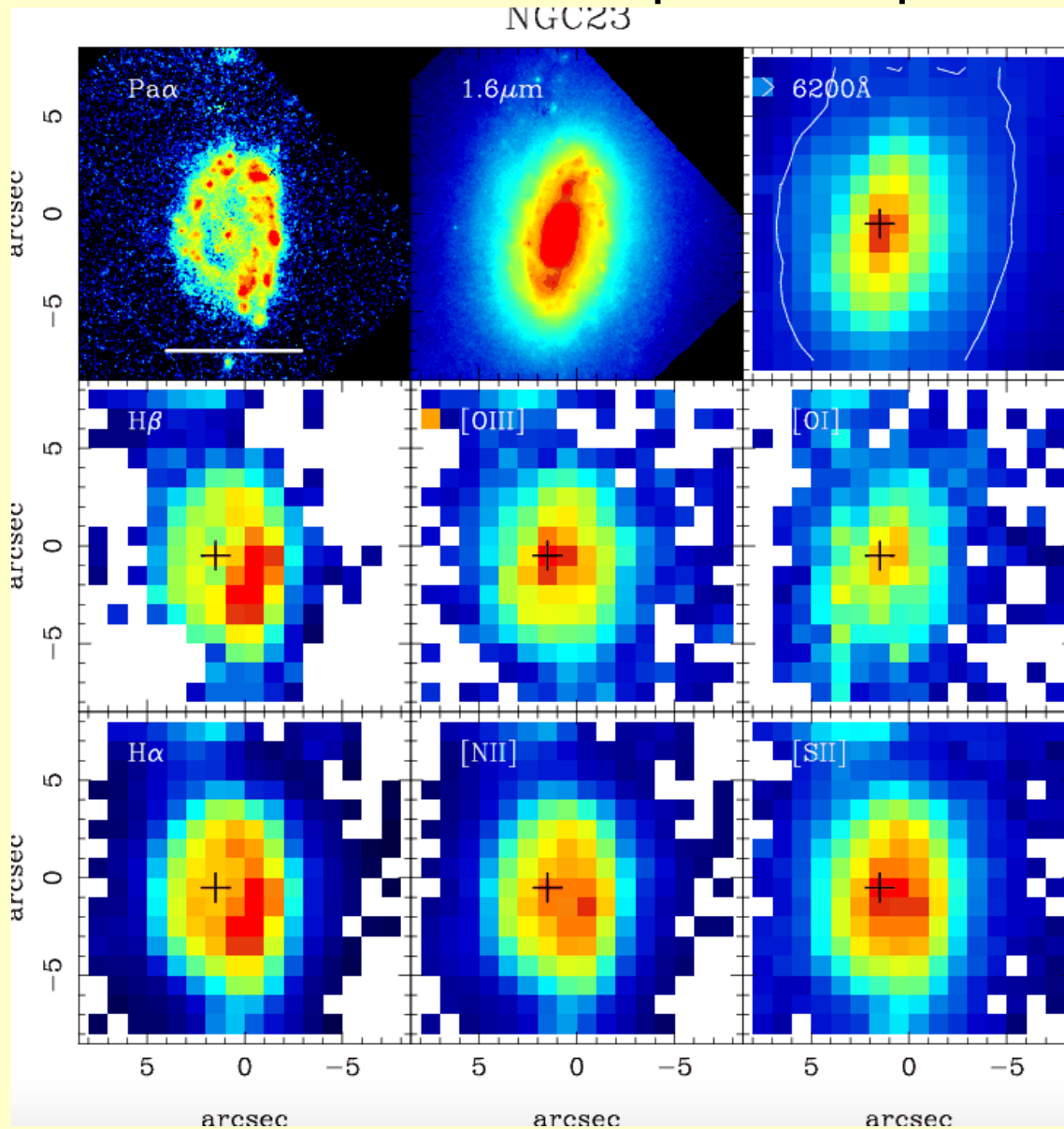
VIMOS/VLT: развод жгутов на 4 ПЗС



6400 spectra:

54"x54" @ 0.67"/spaxel
27"x27" @ 0.67"/spaxel

PMAS=Potsdam Multi-Aperture Spectrophotometer



3.5-m Calar Alto

16x16 square elements, 1mm pitch

0.5 arcsec sampling, 8 x 8 arcsec² FOV

0.75 arcsec sampling, 12 x 12 arcsec² FOV

1.0 arcsec sampling, 16 x 16 arcsec² FOV

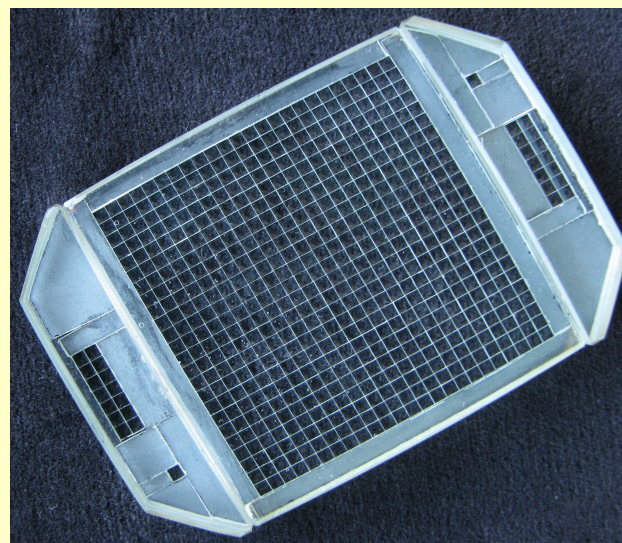
256 OH-doped fibers, 150μm core diameter

MPFS – был взят за прототип

IFU/SCORPIO-2



22x22 элемента (0.7"/линзу)
Упаковка волокон в 2 щели
отдельный коллиматор



IFU/SCORPIO-2: примеры спектров

