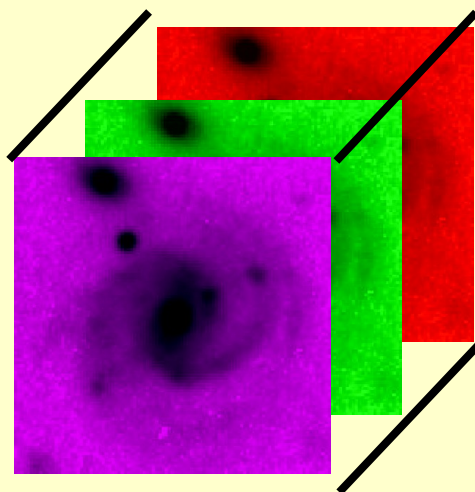
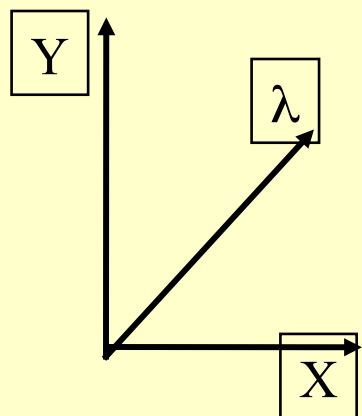


Методы панорамной спектроскопии

Лекция 4.

Сканирование щелью. Резатели изображений. Панорамные спектрографы в ближнем ИК. Работа с системами АО. Спектрографы: SINFONI, MUSE, KMOS, приборы JWST.

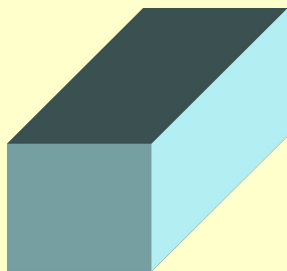
Куб данных



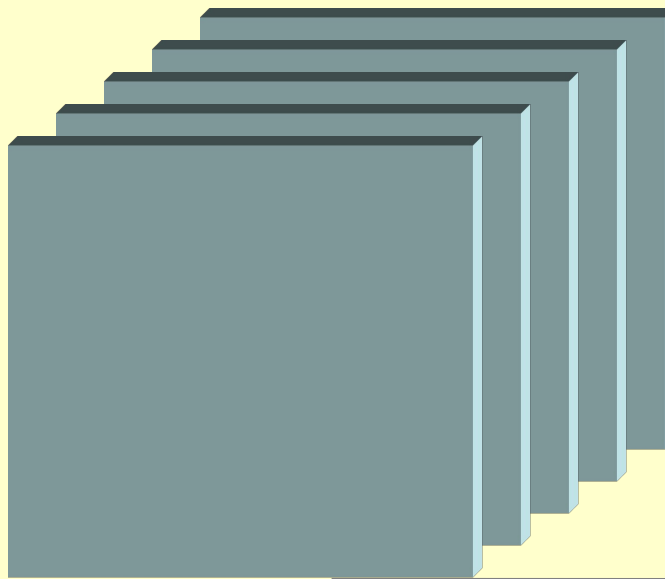
Длинная щель



Спектрографы Интегрального поля



Интерферометр Фабри-Перо



Сканирование щелью.

Ohtani 95

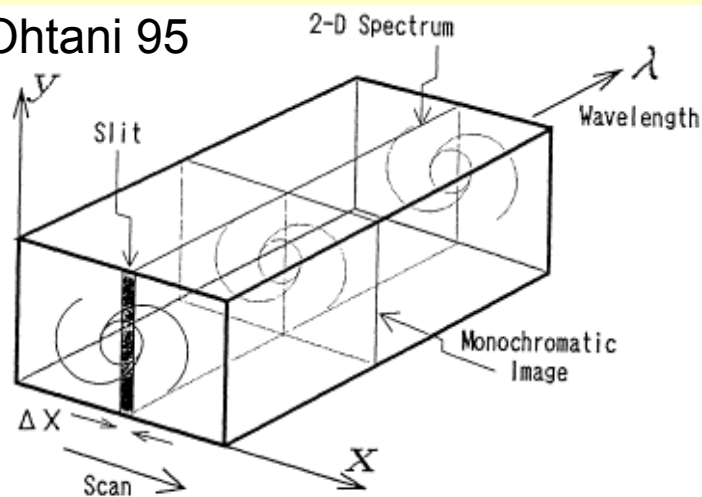


Figure 1. The concept of SNG observations.

Spectronebulagraph (SNG)
1.88-m Okayama Astroph. Observatory

Щель шириной 1.8", точность
установки < 0.3'

Проблемы вариаций атмосферных
условий решается добавлением
наблюдений с поворотом на 90°

Kosugi +95

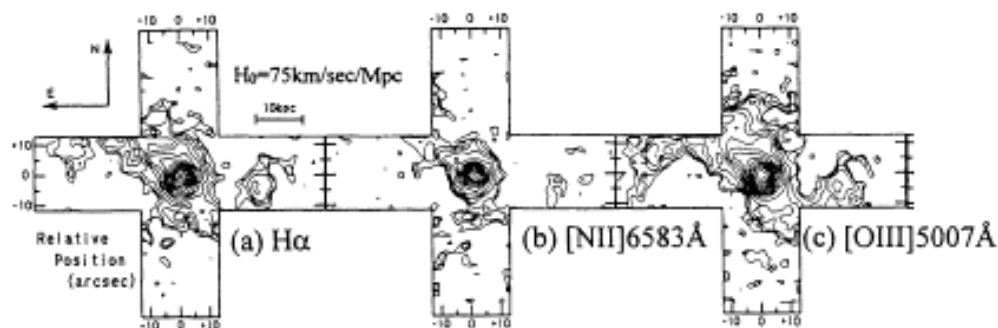


Figure 1. The pure narrow-line images. (a) $H\alpha$, (b) $[NII]6583\text{\AA}$, (c) $[OIII]5007\text{\AA}$ and (d) integrated sections.

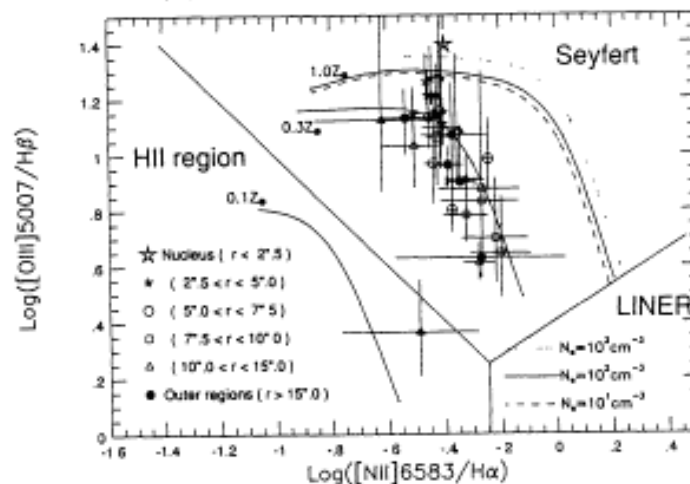


Figure 2. The VO diagram of 3C 120. Each plot shows the line ratios of integrated spectra at the regions shown in Fig. 1(d). The solid lines

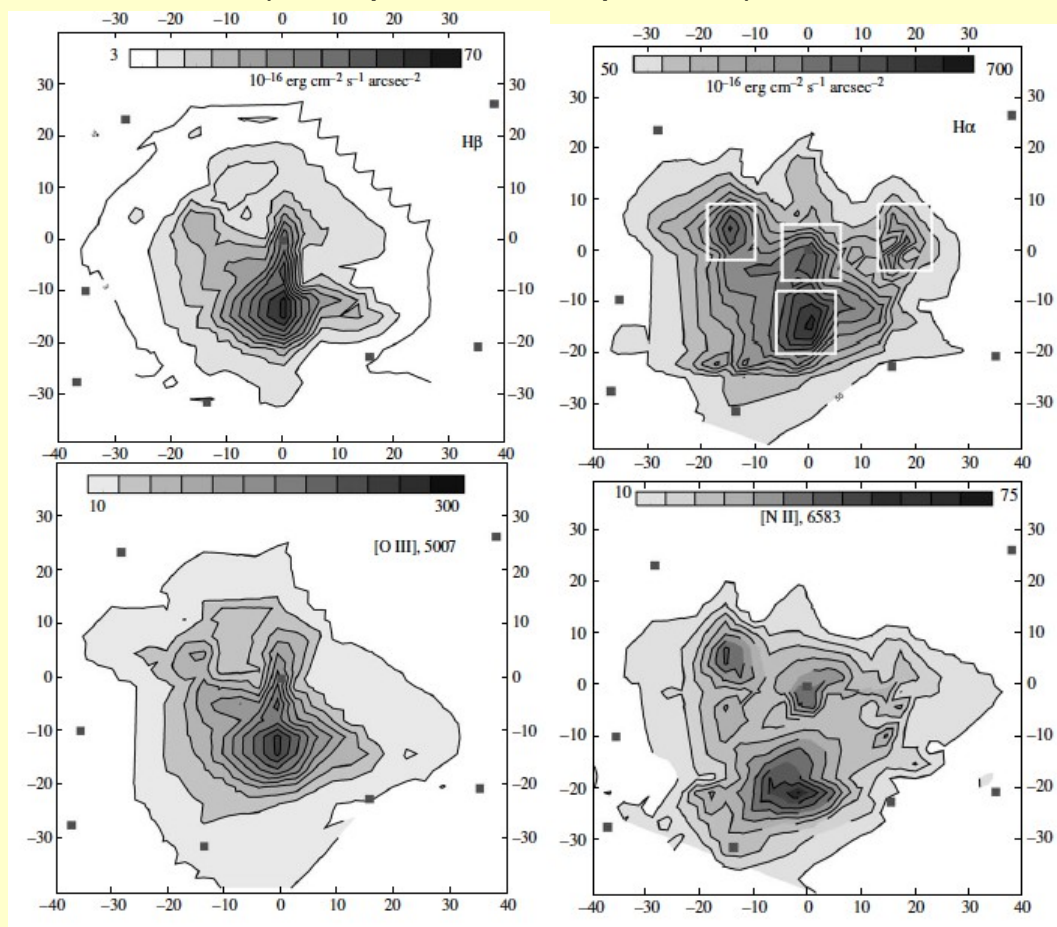
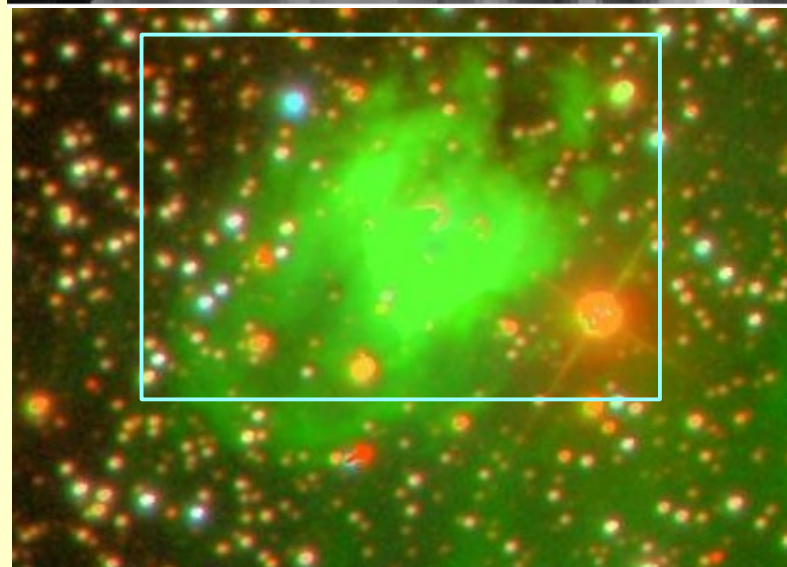
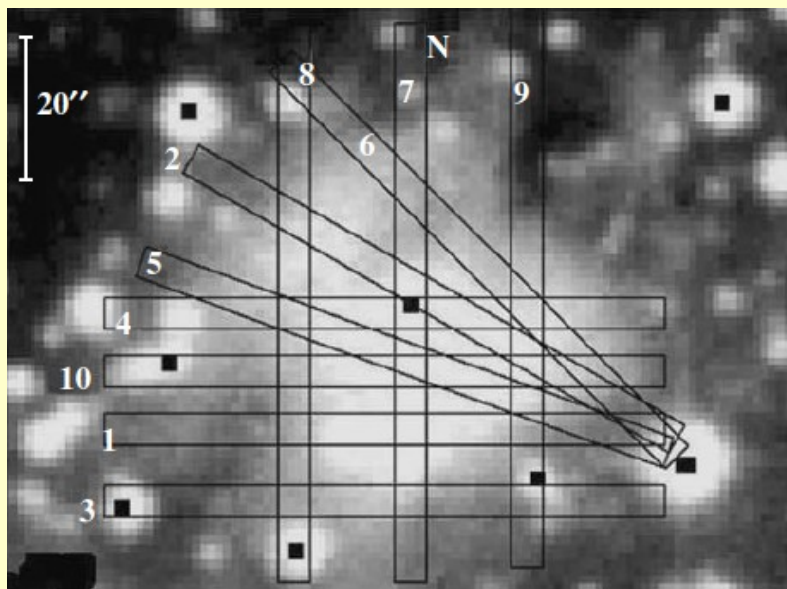
Сканирование щелью: NGC 6857

Цейсс-1000 + 0.7 м АЗТ-8

Щель 4.5"

Построены карты в основных линиях излучение туманности, карты A_v и n_e

(Кондратьева и др. 2014)



Резатели для 3D спектроскопии

Weitzel et al. (1996)

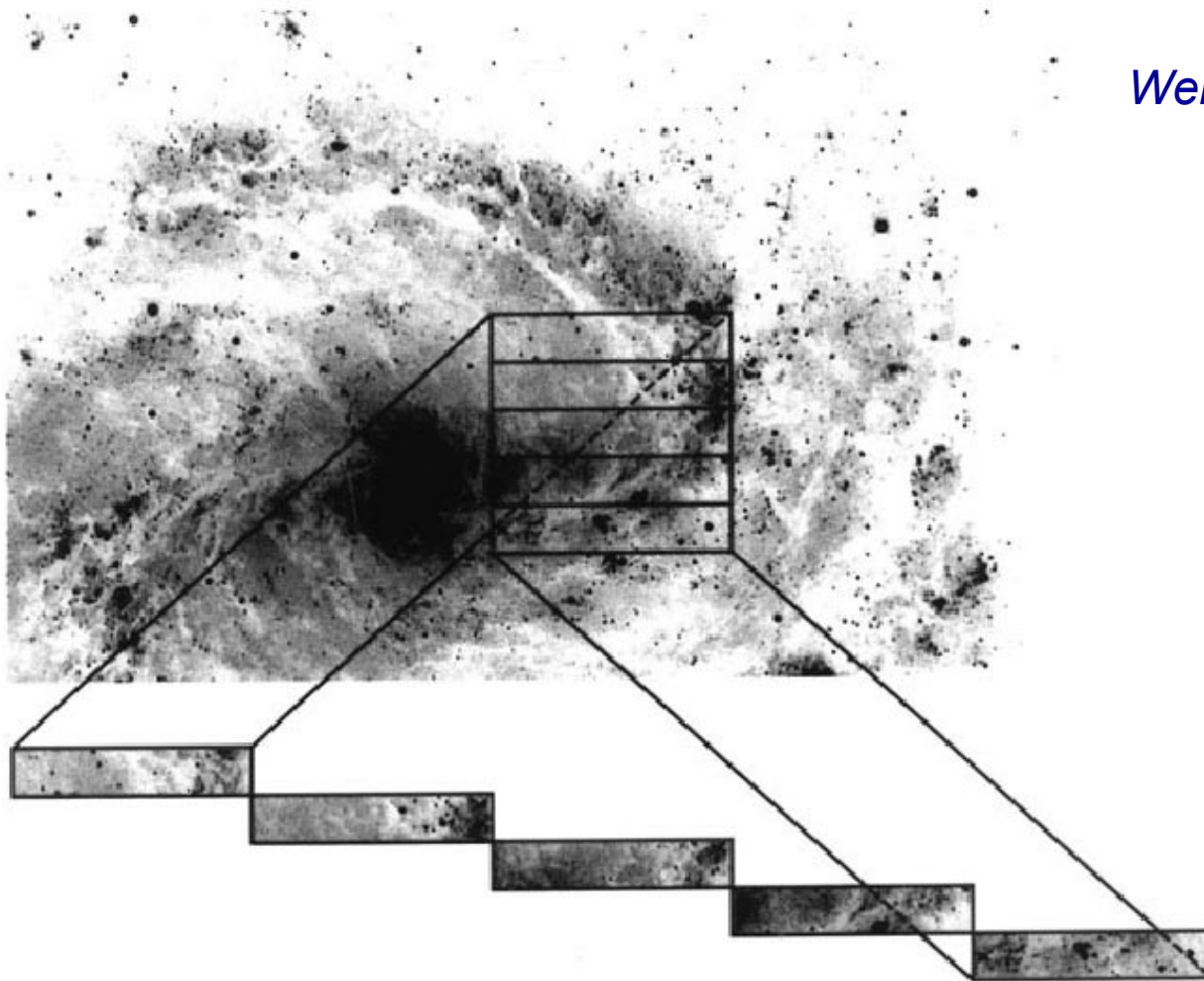
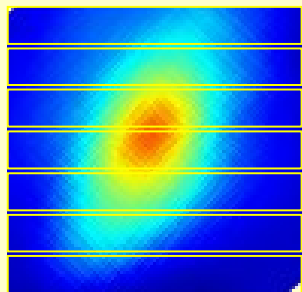
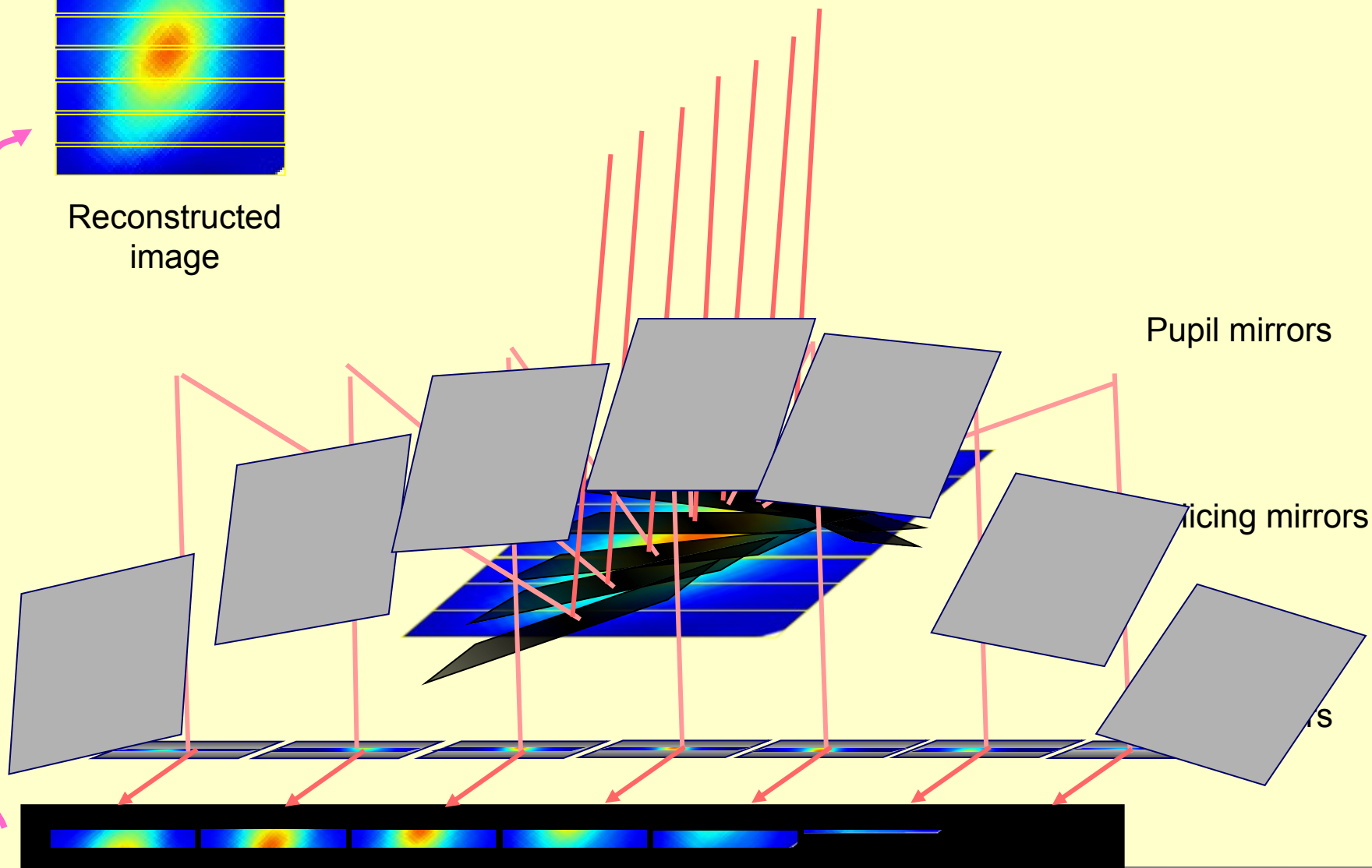


Fig. 1. The working principle of the 3D image slicer. The upper box represents the field of view with the original image. The image is horizontally cut into 16 strips, demonstrated here with 5 strips only. The single strips are then optically rearranged in the way shown to form a stair-like long slit

Резатель (slicer)



Reconstructed
image

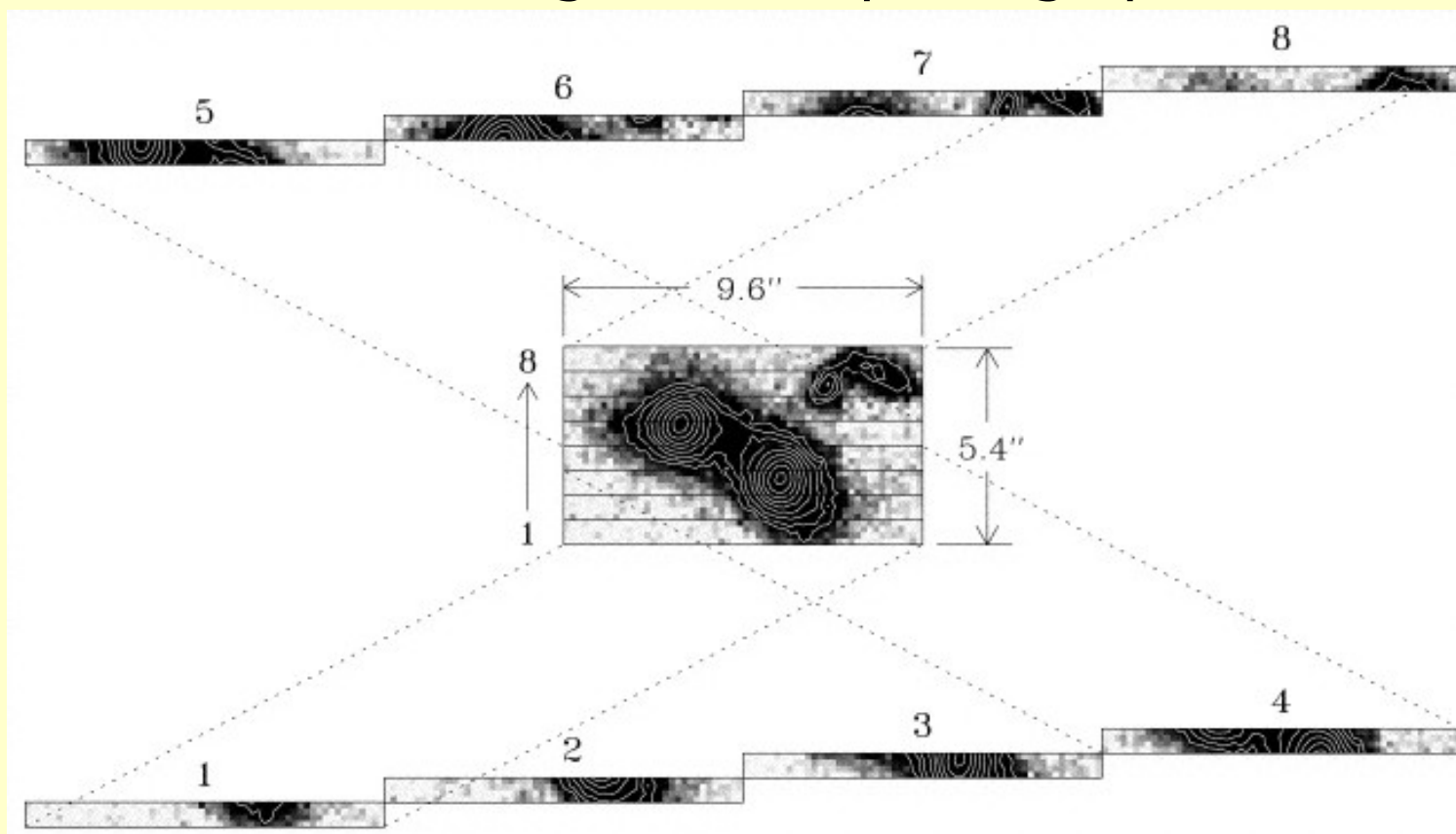


Pupil mirrors

Slicing mirrors

S

PIFS: Palomar Integral Field Spectrograph

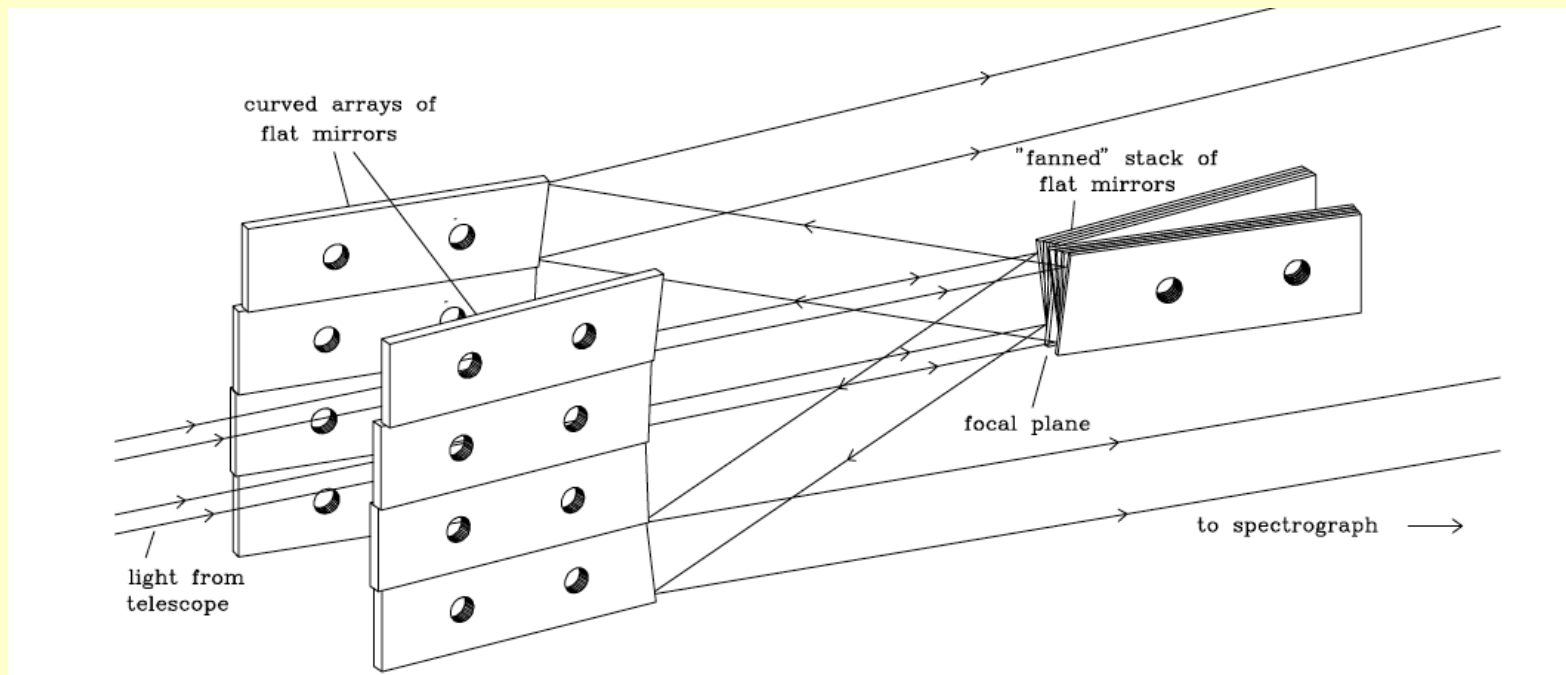


Ширина отдельных щелей – 0.67"

Murphy +99

PIFS: Palomar Integral Field Spectrograph

Охлаждаемый щелевой блок оптимален для наблюдений в ИК.
Плата за это – трудности изготовления (прецизионная алмазная обработка) и юстировки тонких пластин.

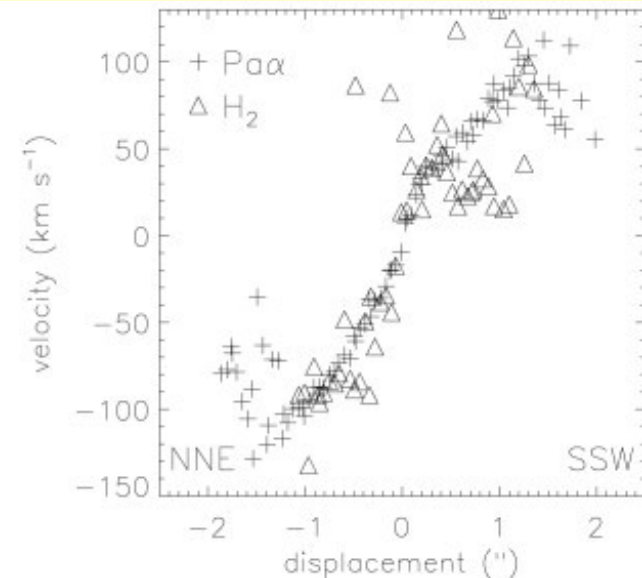
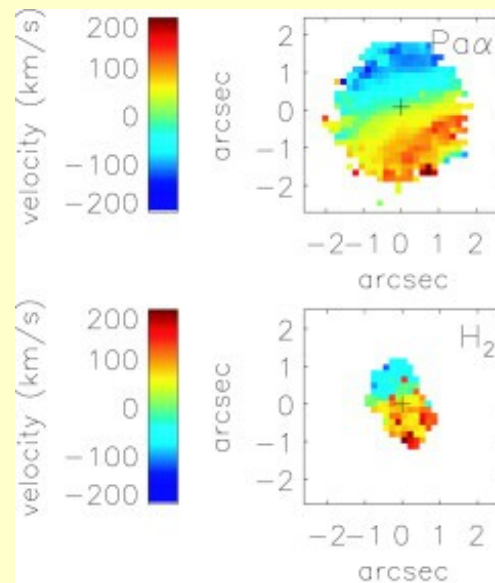
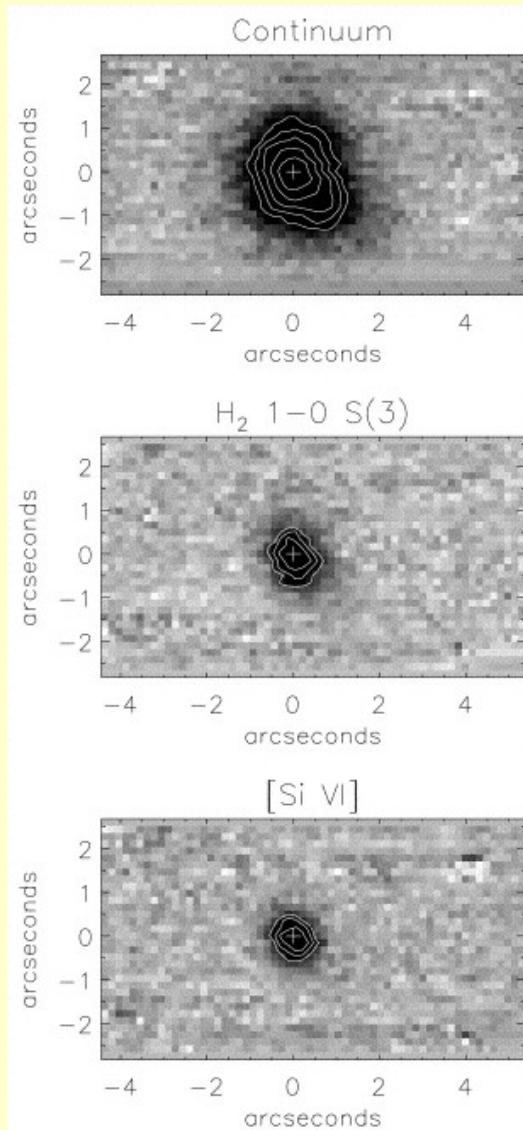


Murphy +99

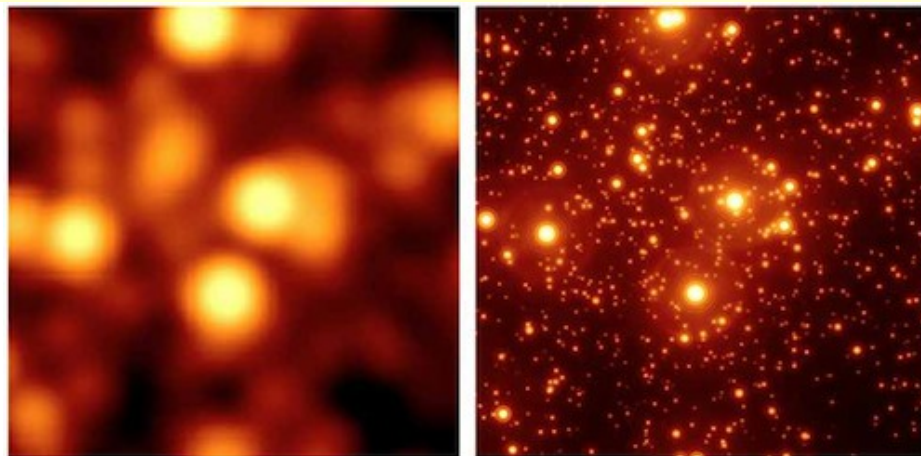
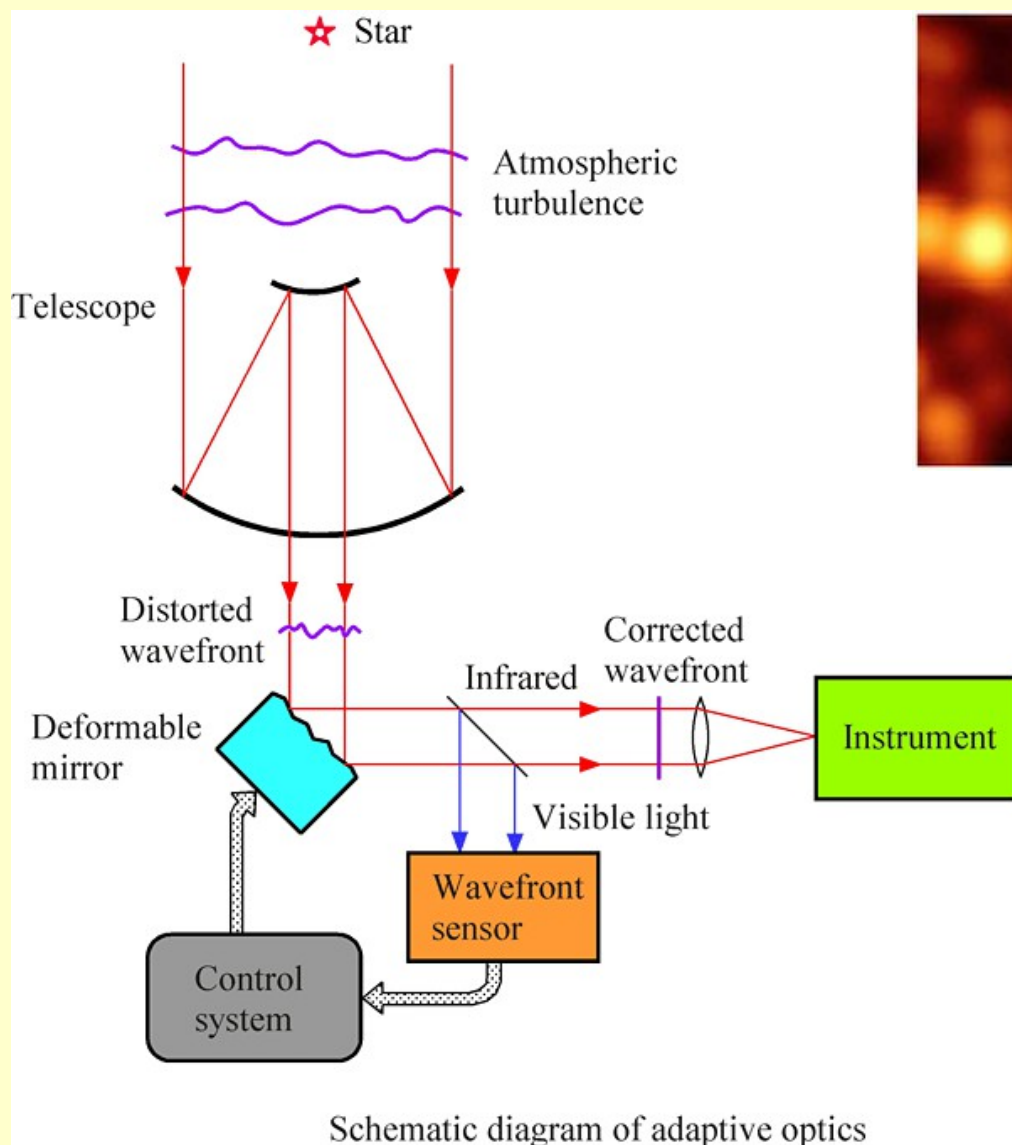
PIFS: observations of IRAS 08311-2459

Near InfraRed observations of the
Ultraluminous Infrared galaxy IRAS 08311-2459

Murphy et al. (2000)



Спектроскопия с системами адаптивной оптики



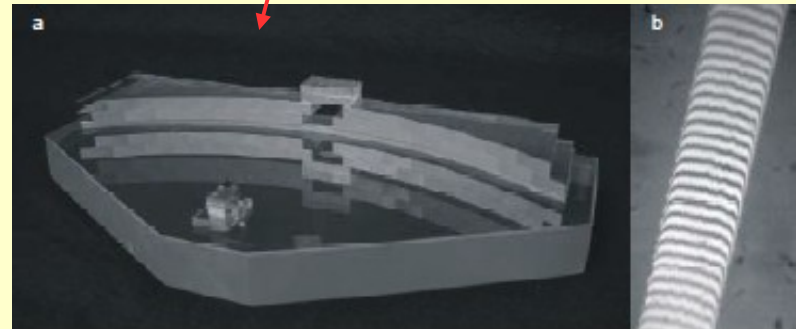
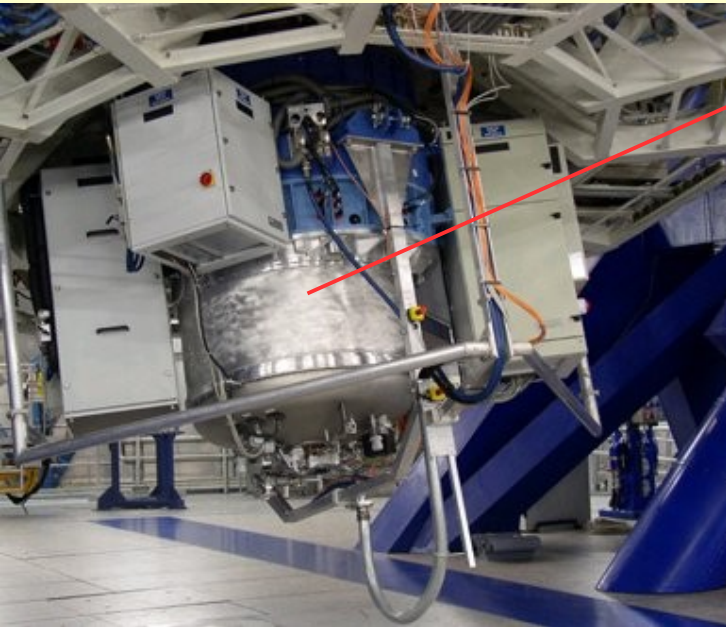
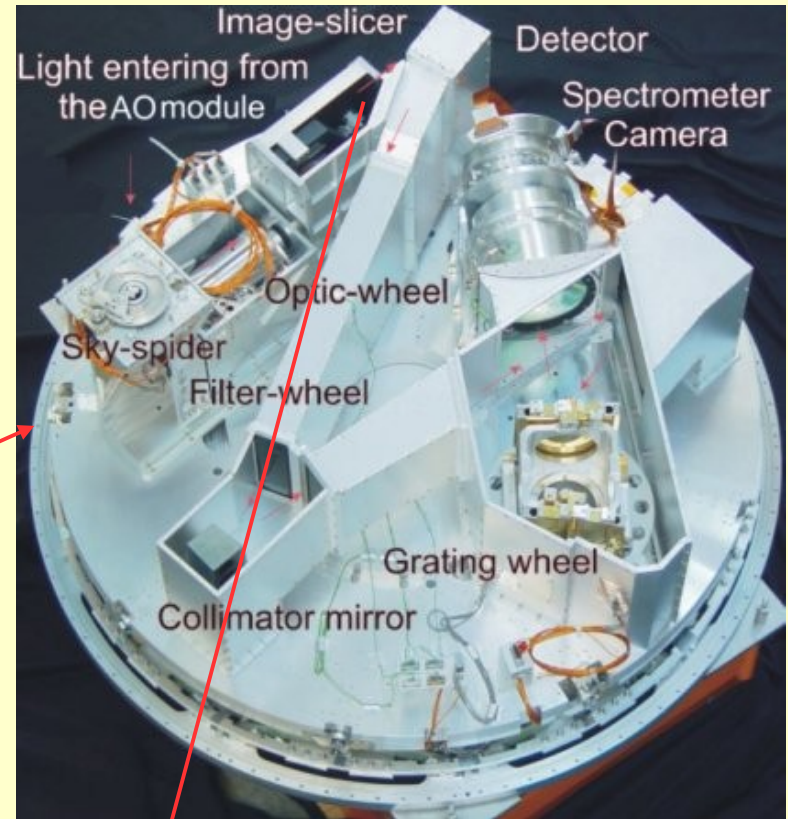
- АО работает преимущественно в ИК
- Спектроскопия с длинной щелью здесь нерациональна (потеря пространственной информации + сложность позиционирования)

➡ 3D-спектроскопия
(в ИК оптимальна с резателем)

SINFONI - Spectrograph for INtegral Field Observations in the Near Infrared (VLT)

Spectral range: (1.1 - 2.45 μm)

Field of View	Spatial Scale	Mode	Limiting Magnitudes
8"x8"	125x250mas	noAO	J=20.2 H=19.9 K=17.9 H+K=19.6
3"x3"	50x100mas	NGS	J=19.4 H=19.6 K=18.8 H+K=19.8
0.8"x0.8"	12.5x 25mas	NGS	J=17.8 H=18.7 K=18.3 H+K=19.2

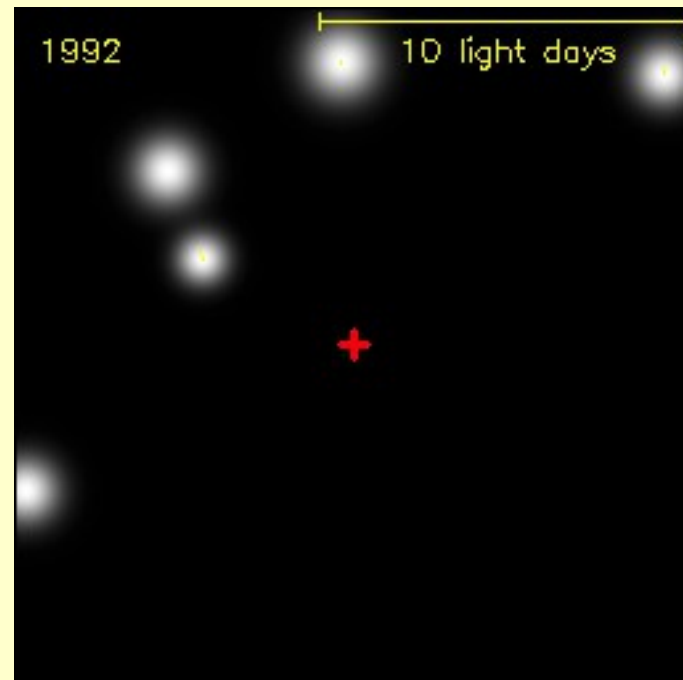


Eisenhauer + 2003

Центр Галактики в инфракрасном диапазоне



Combined H- K- and L-band adaptive optics image of the Galactic Center obtained with

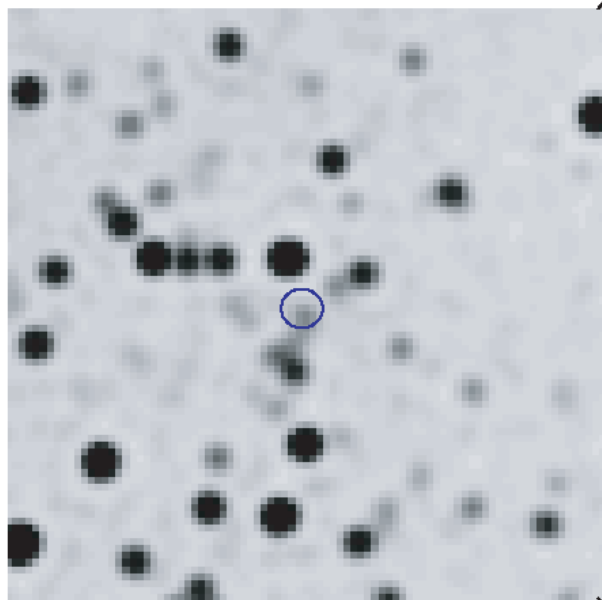


<http://www.mpe.mpg.de/ir/GC>

SINFONI: галактический центр

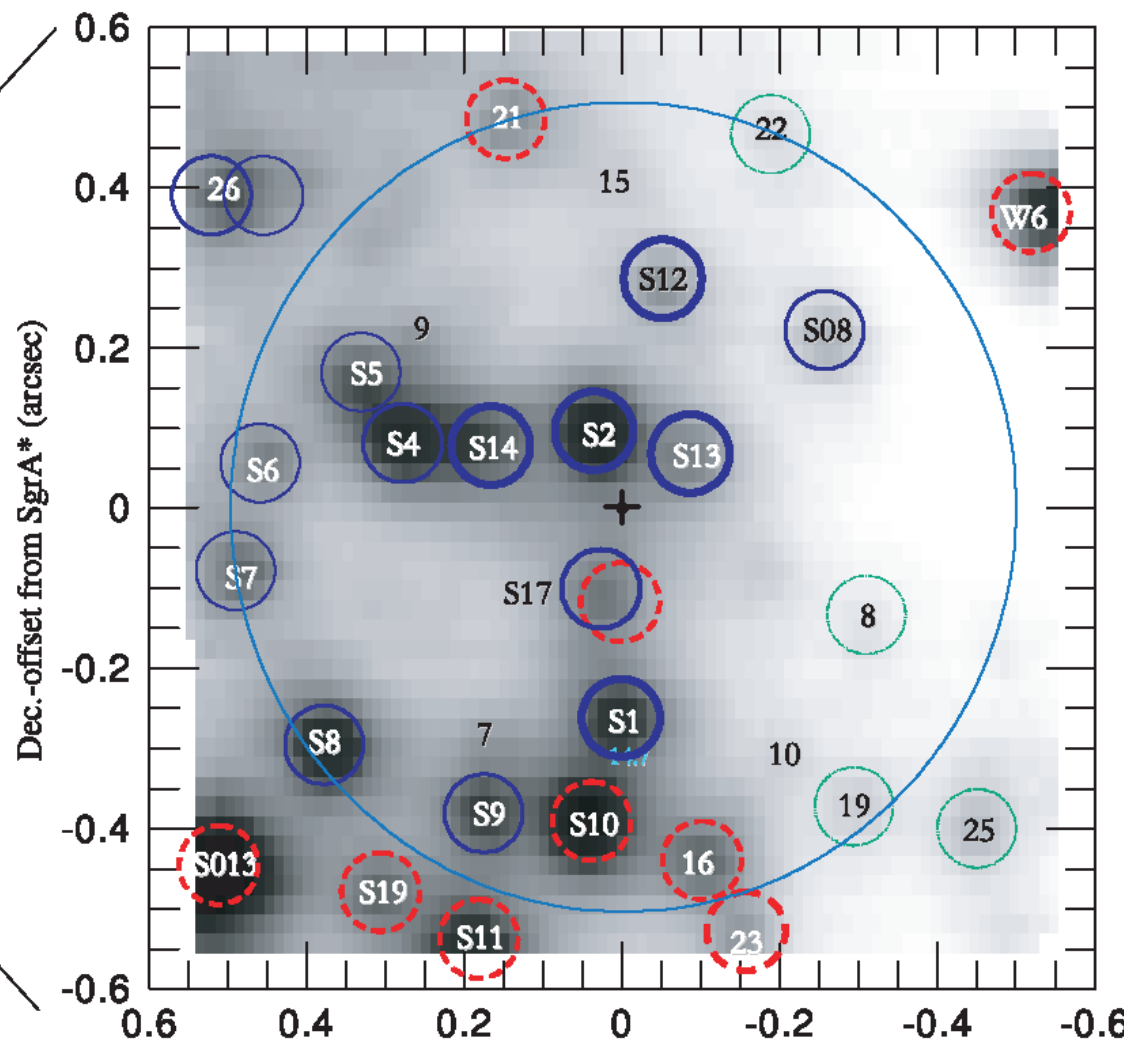
Eisenhauer et al. (2005),

NACO 10.06.04: H (40mas)



0.5'' (23 light days)

SINFONI 18.08.04: K(75 mas)



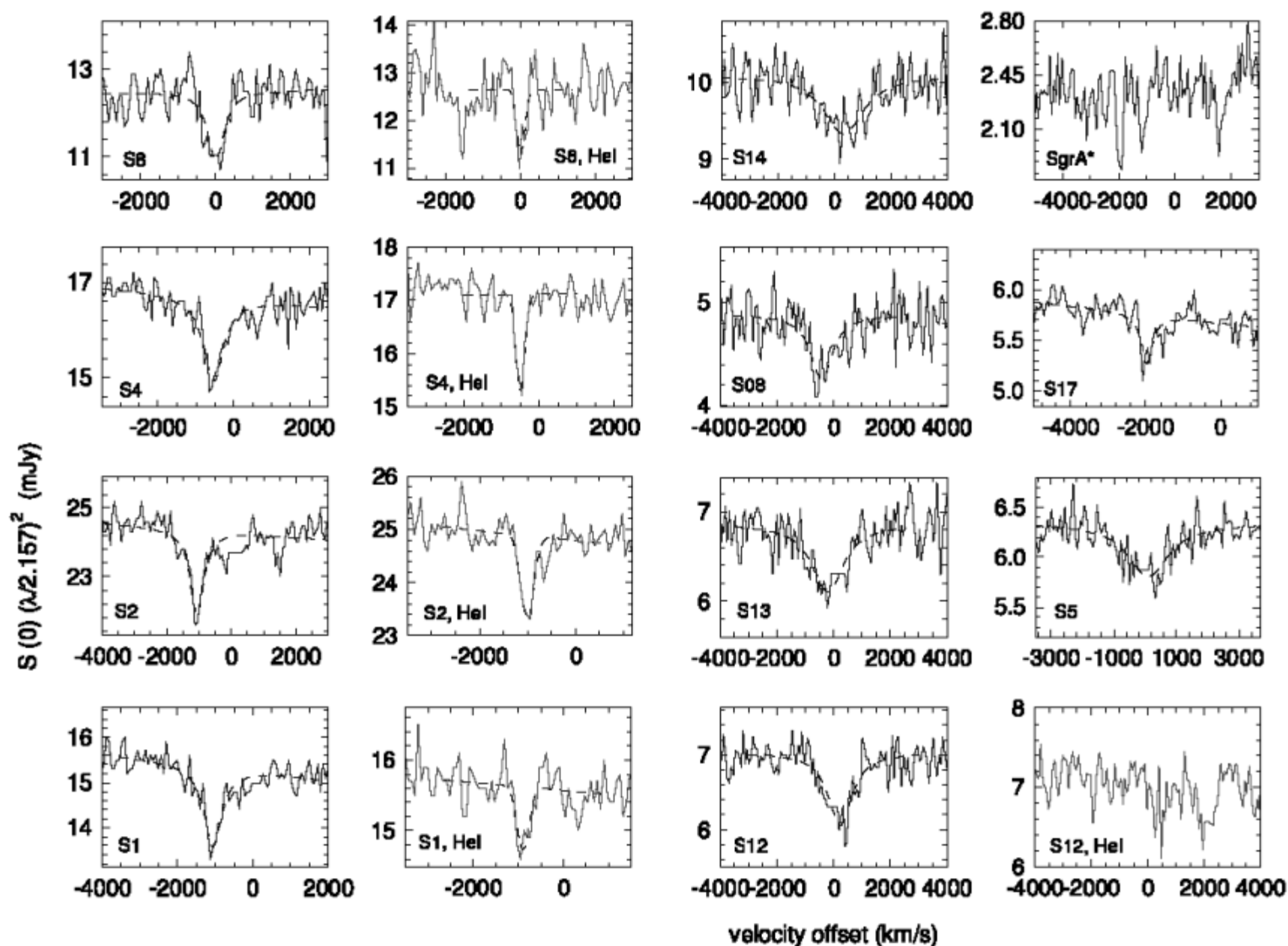
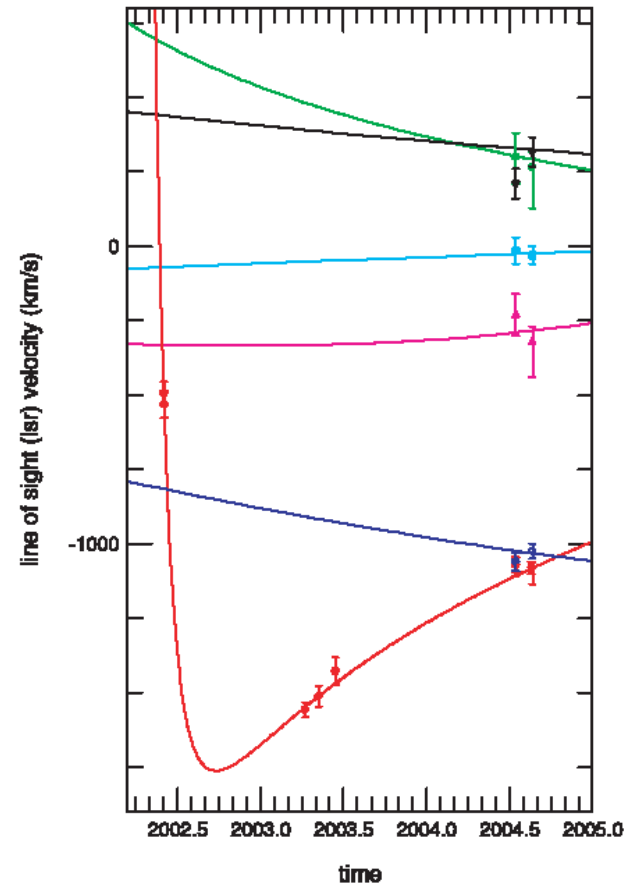
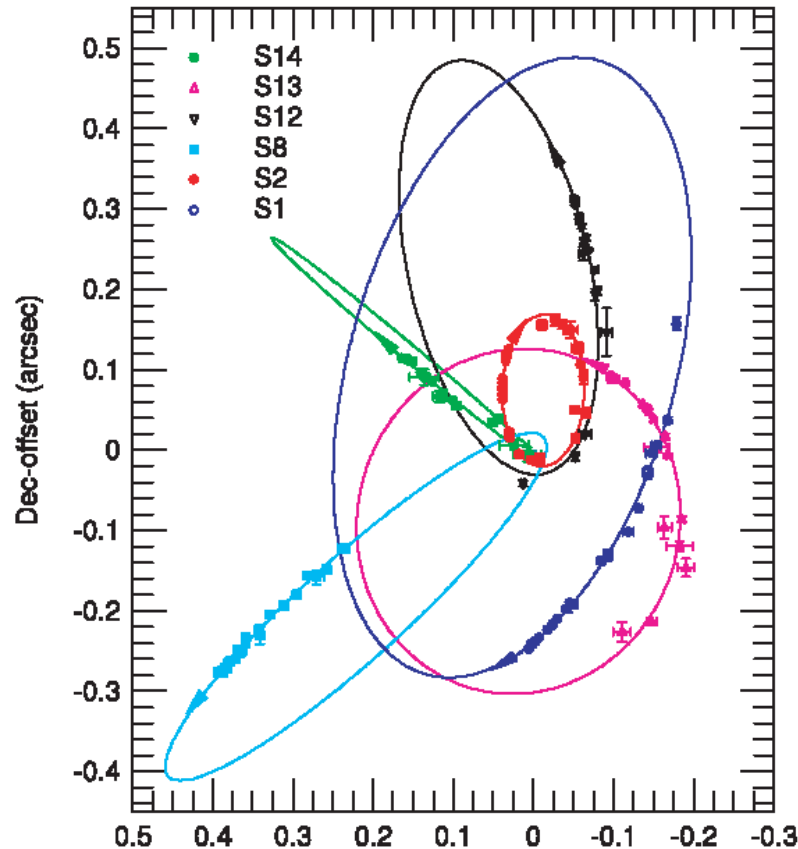


FIG. 2.—Extracted spectra near the $2.1661 \mu\text{m}$ H I Br γ (7–4) line and the $2.1127 \mu\text{m}$ He I line (labeled) for 10 of the 11 $K < 16$ mag stars in the central $\sim 0''.5$, plus a

SINFONI: к астрометрии добавлены лучевые скорости

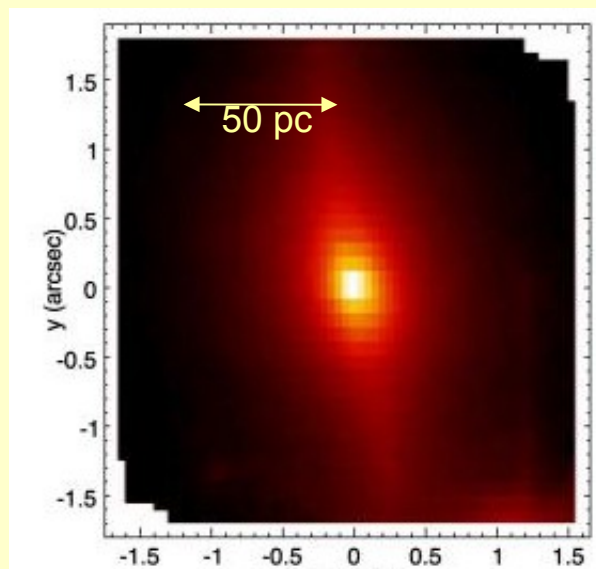


Данные SINFONI в комбинации с прямыми снимками в разные эпохи использовались для построения трехмерной модели звездных орбит в центре Галактики, уточнения массы ЧД и расстояния до неё

(see also Schödel et al. 2003). The measured radial fit to the spatial and radial velocity data of S1, S2,

SINFONI: массы черных дыр в других галактиках

NGC 4486A (Nowak +07)



Параметры звездной кинематики

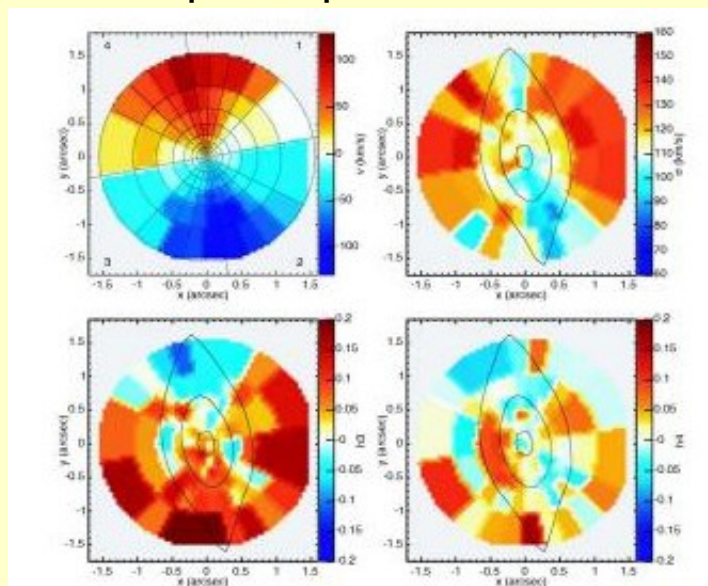
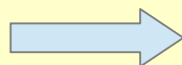
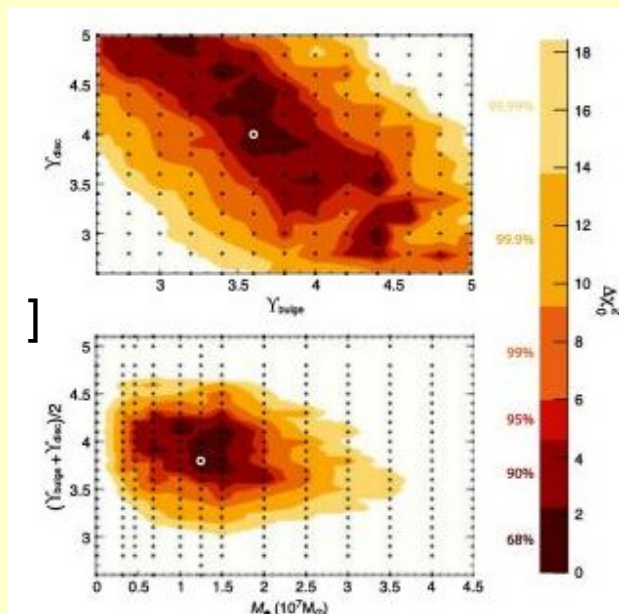


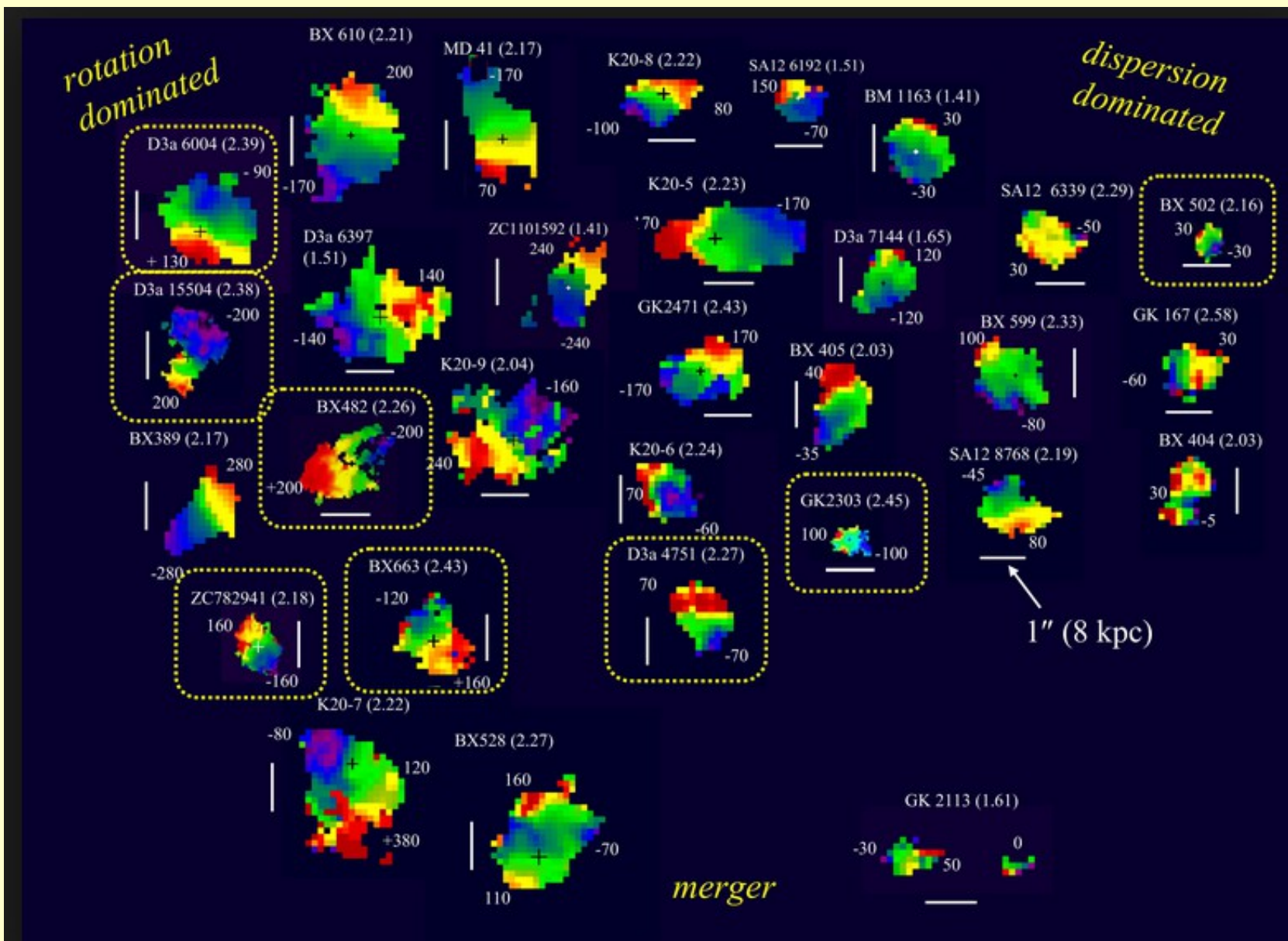
Figure 3. Stellar kinematic fields (v , σ , h_3 , h_4) of NGC 4486a. The binning



Подгонка наблюдений моделью,
масса центральной ЧД (M^*) - один
из параметров

АО: seeing < 0.1"

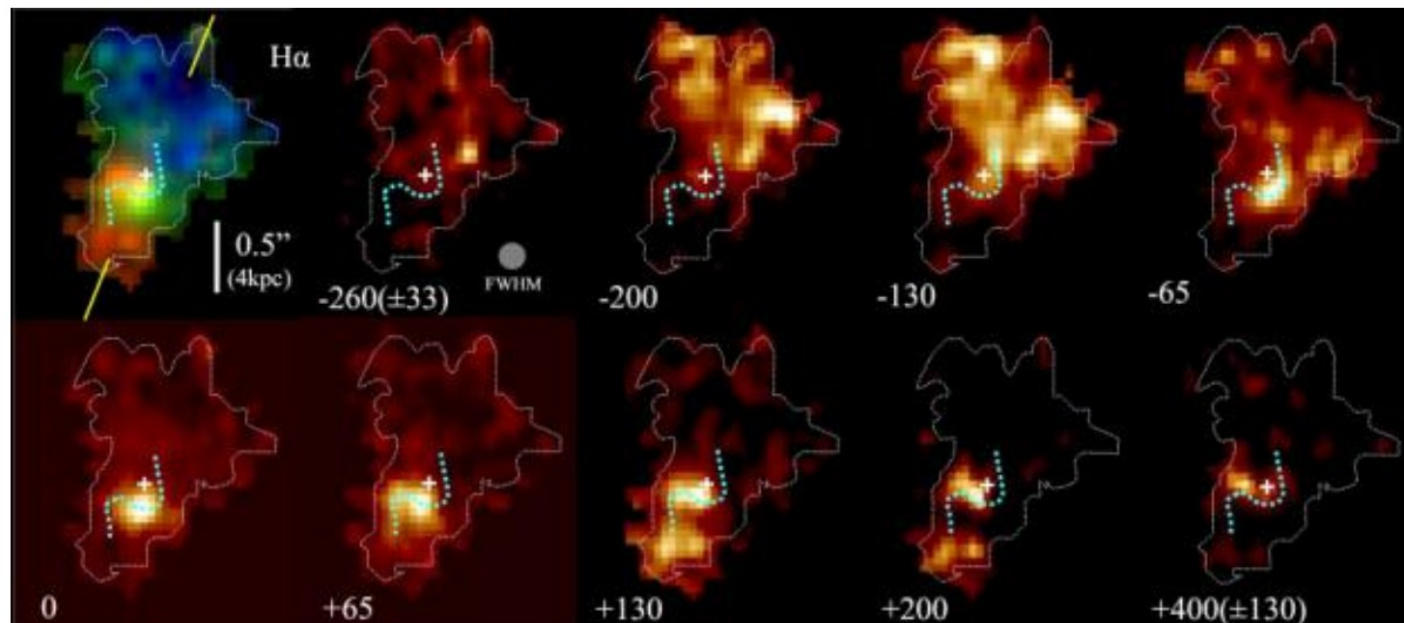
SINFONI: обзор галактик на $z \sim 2$ (SINC, 62 galaxies in Ha)



SINFONI/SINS

Звездообразование в линии H α на $z=2.38$ с разрешением 1.2 кпк – возможность прямого сравнения с близкими галактиками.

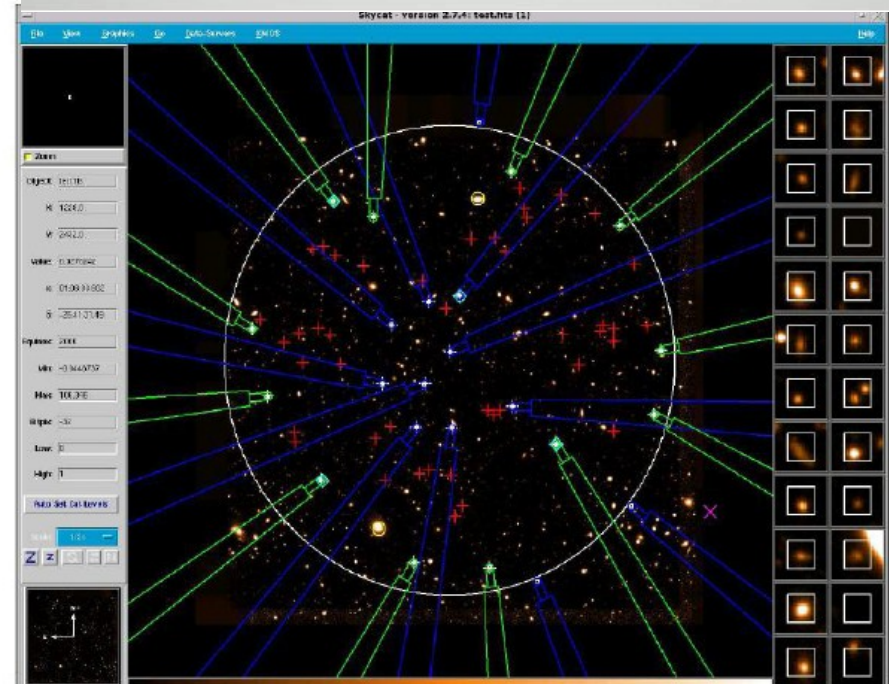
BzK-15504: SFR=150 Msun/yr



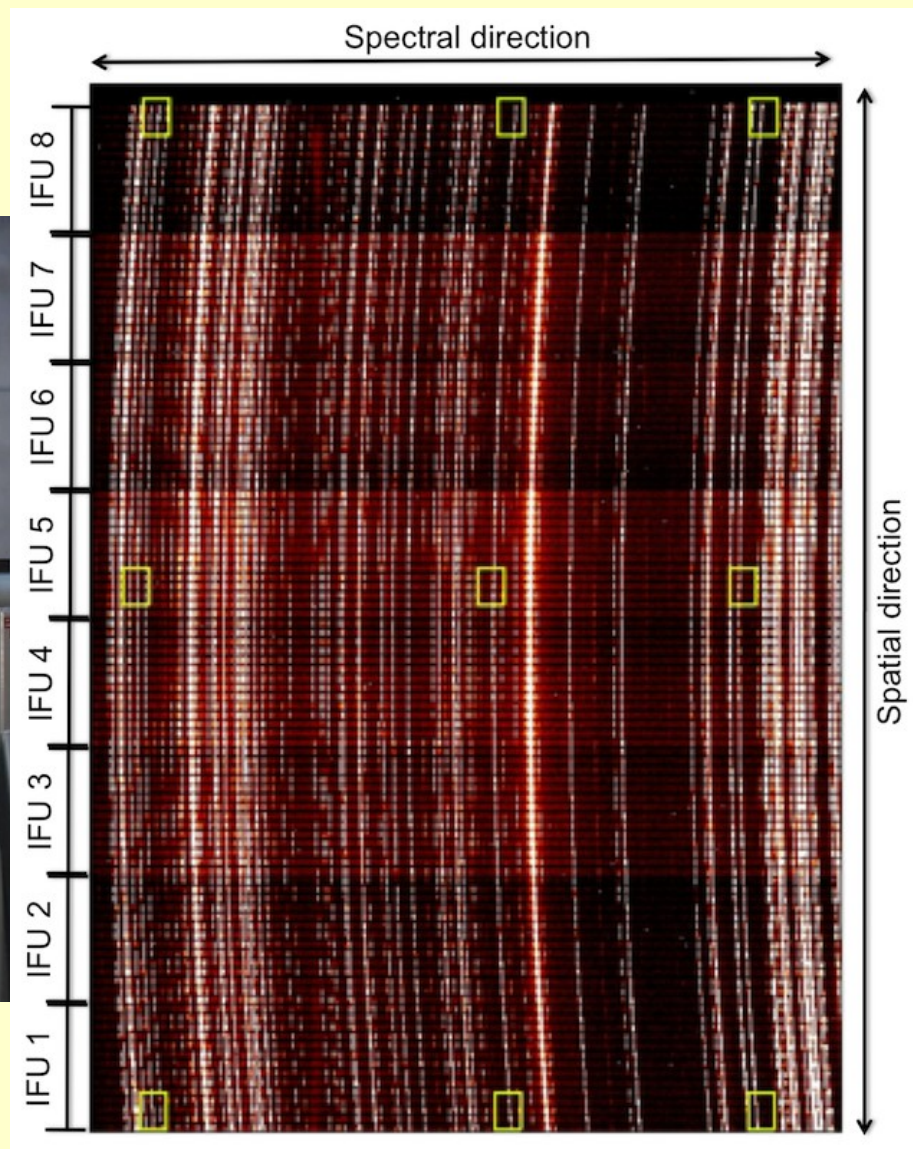
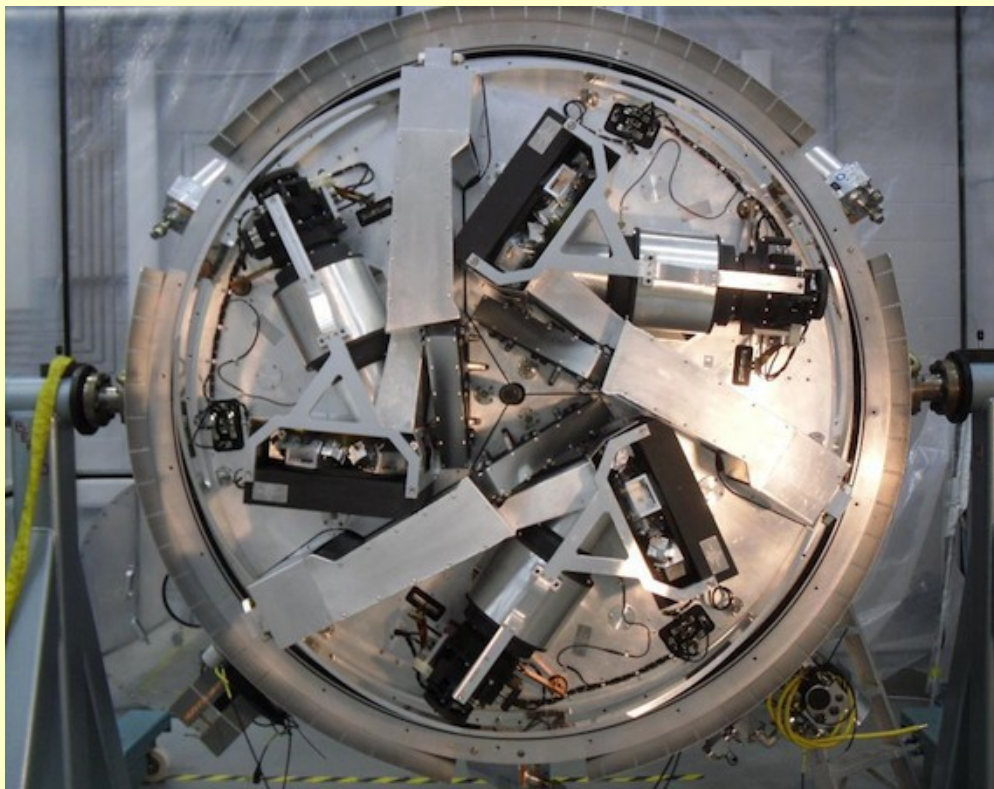
Hydrogen recombination line emission of H α of the massive star-forming galaxy BzK-15504 eleven billion light-years away (redshift $z = 2.38$). The observations were carried out with SINFONI in adaptive-optics mode, resulting in an angular resolution of ≈ 0.15 arcsec, or a mere 1.2 kpc (4000 light-years; indicated by the grey filled circle) at the redshift of BzK-15504. The top left panel is a color-composite map of the integrated H α line emission, showing from blue to red the ionized gas that is blueshifted to redshifted relative to the systemic velocity of the galaxy. The other panels are channel maps showing the spatial distribution of the H α emitting gas moving at different velocities (given in km/s) relative to

KMOS: K-band Multi-Object Spectrograph

- Instrument capabilities
 - VLT 8m
 - 24 MOS probes, 2.8×2.8 arcsec each, sampled at 0.2 arcsec (14 slices)
 - 4704 spatial elements total (188 arcsec^2)
 - 7.2 arcmin diameter patrol field
 - $0.8\text{--}2.5 \mu\text{m}$ range
 - 1000 spectral elements ($R \sim 3600$)
 - $\epsilon = 0.3 \times \text{telescope} \times \text{atmosphere}$

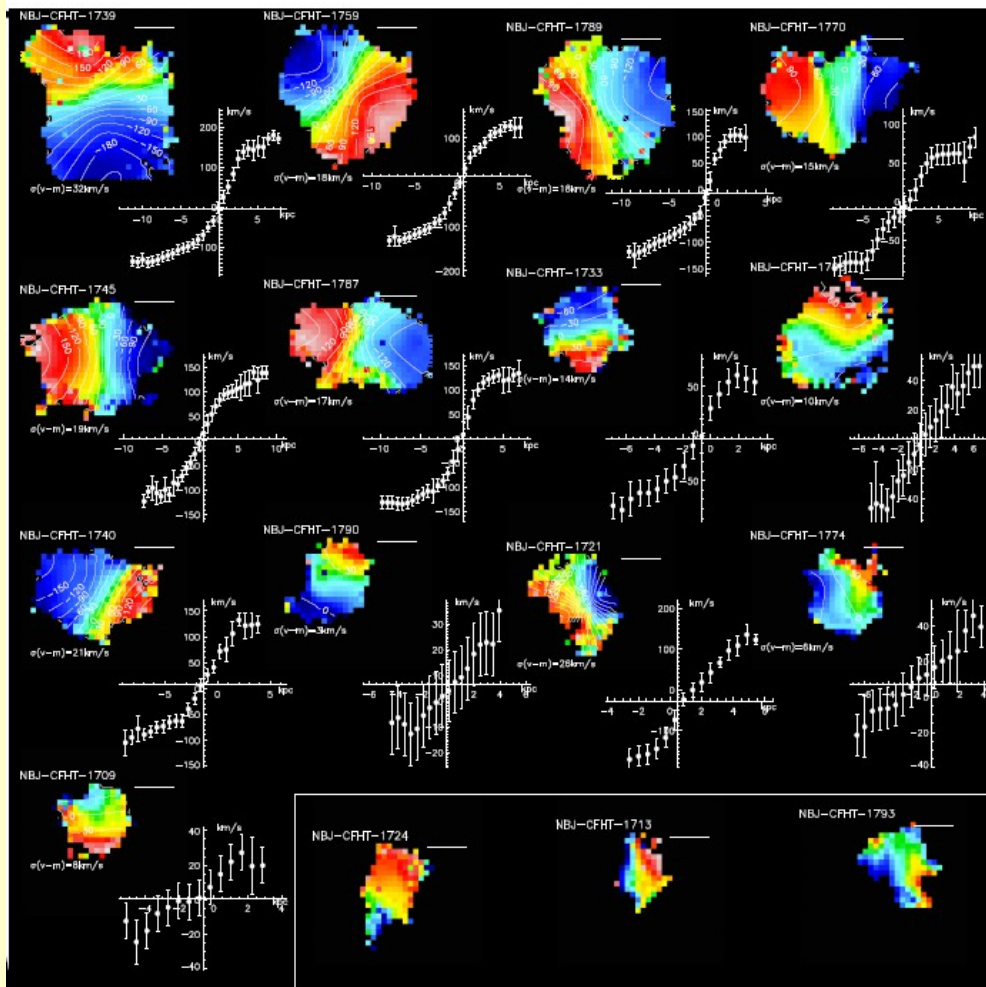


KMOS: три спектрографа, по 8 IFU в каждом



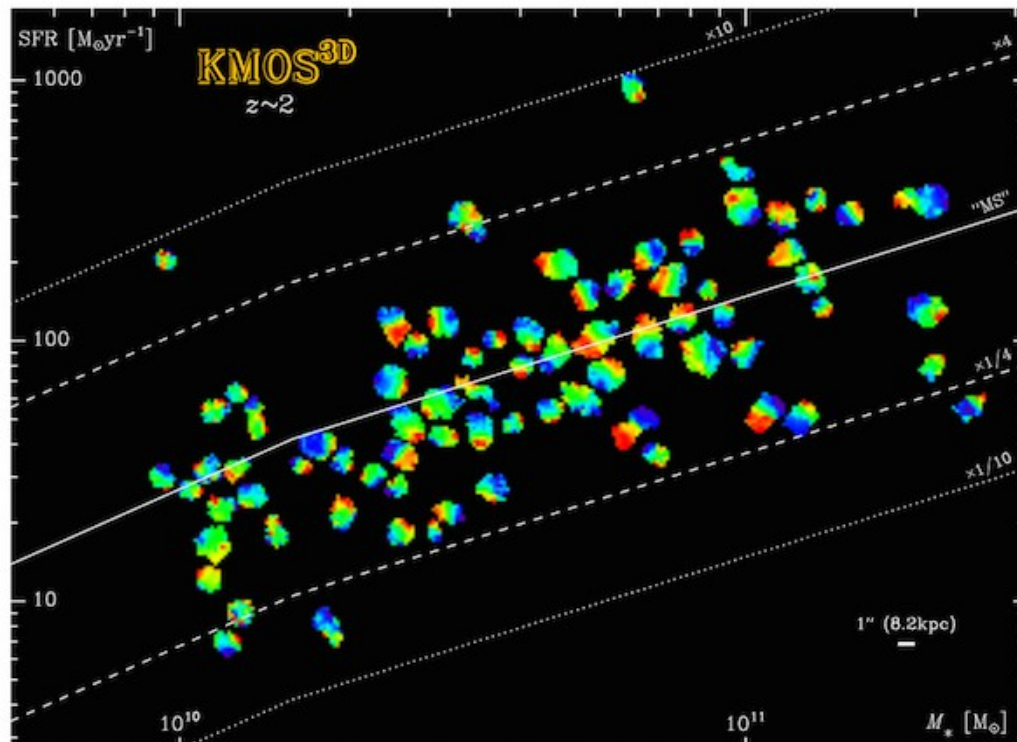
KMOS: многократное увеличение числа целей

2 hours of VLT time



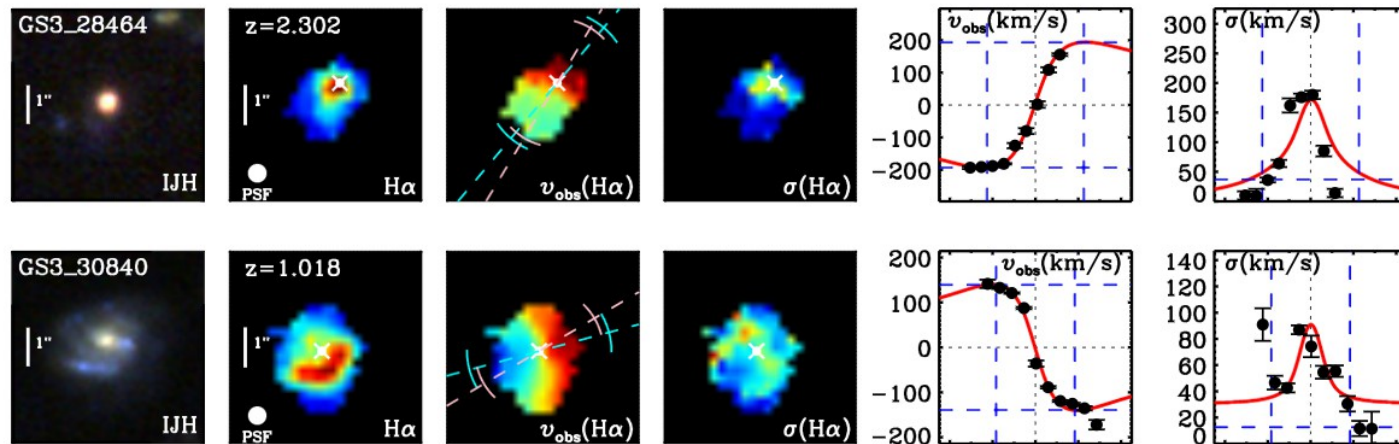
KMOS 3D

550 галактик на $0.6 < z < 2.7$

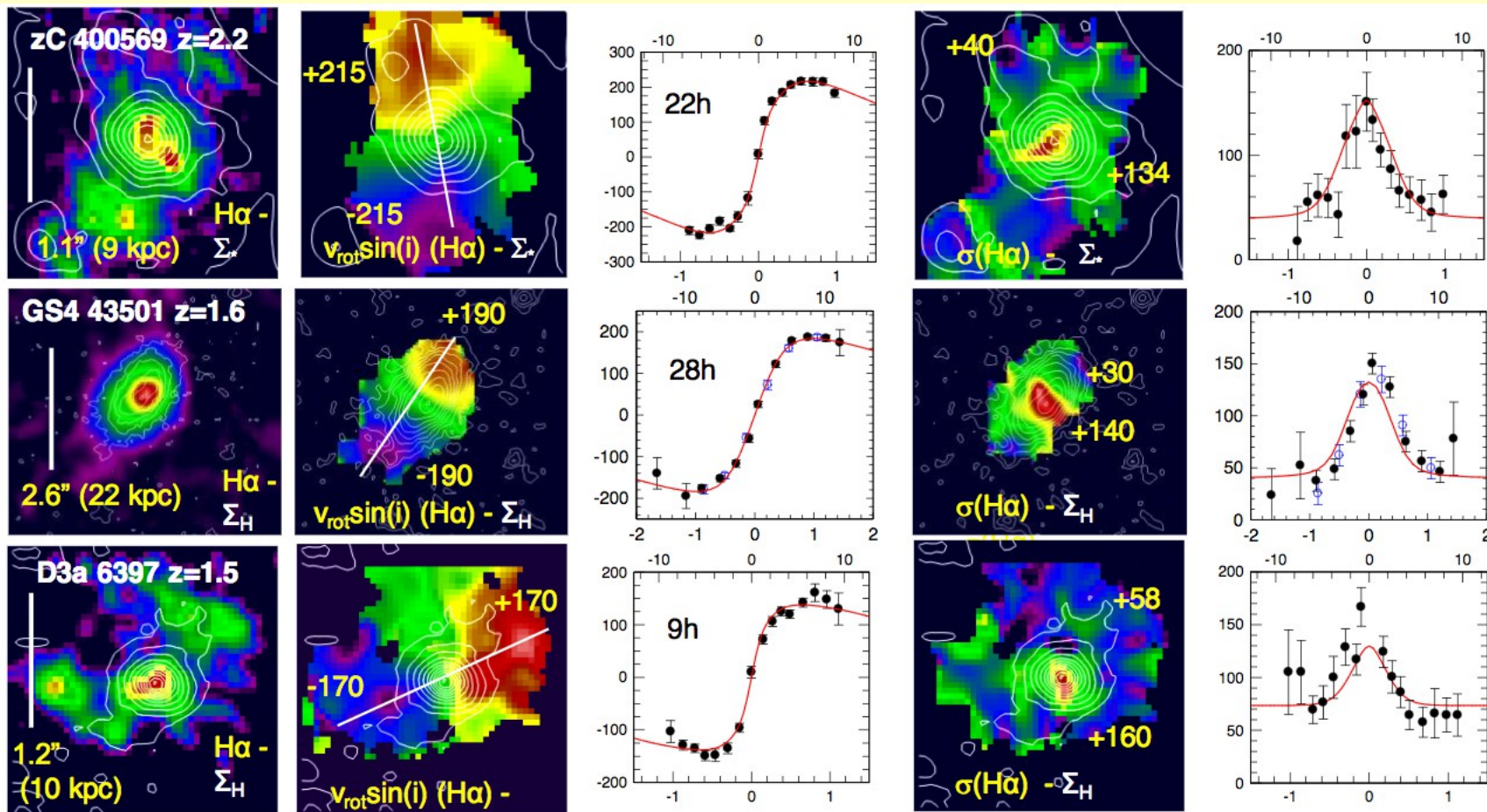


На $z=1-2$ большинство галактик “главной последовательности” - регулярно вращающиеся диски

(Wisnioski + 2015)

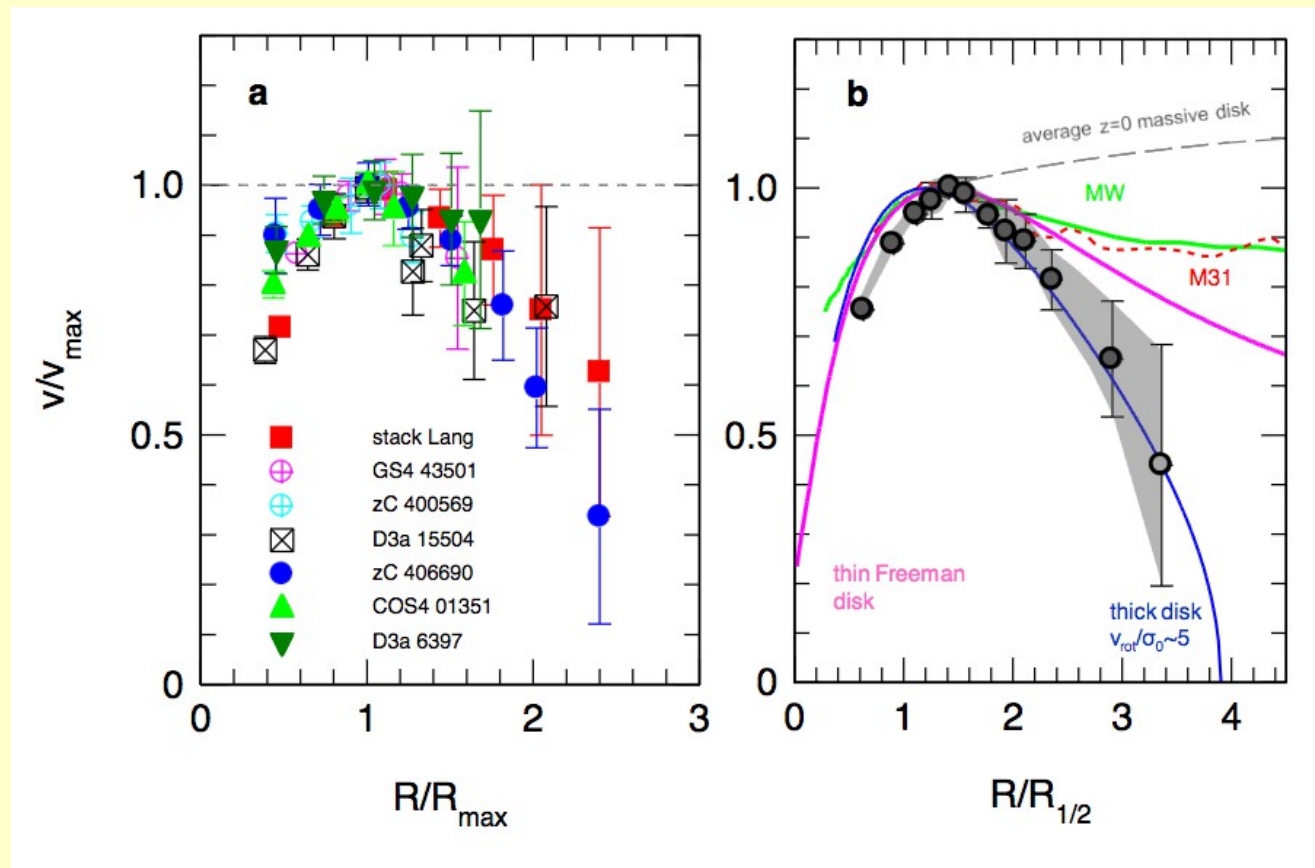


KMOS: в далеких галактиках меньше темной материи?



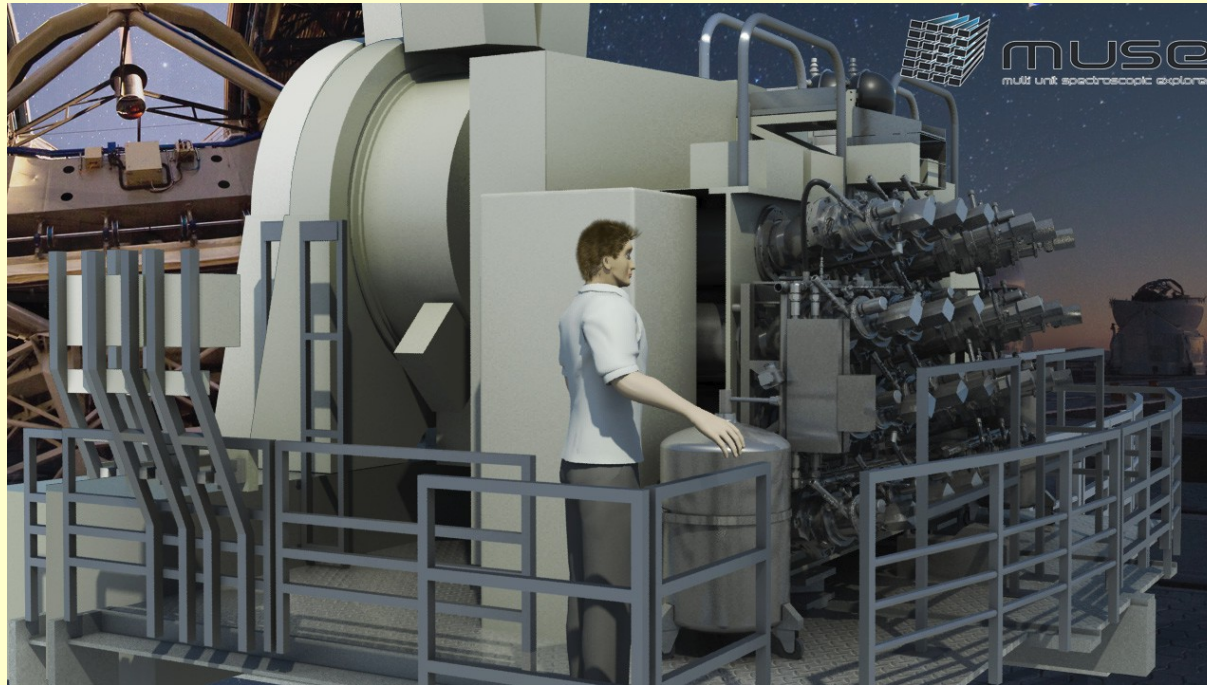
Genzel et al., 2017, Nature

KMOS: в далеких галактиках меньше темной материи?

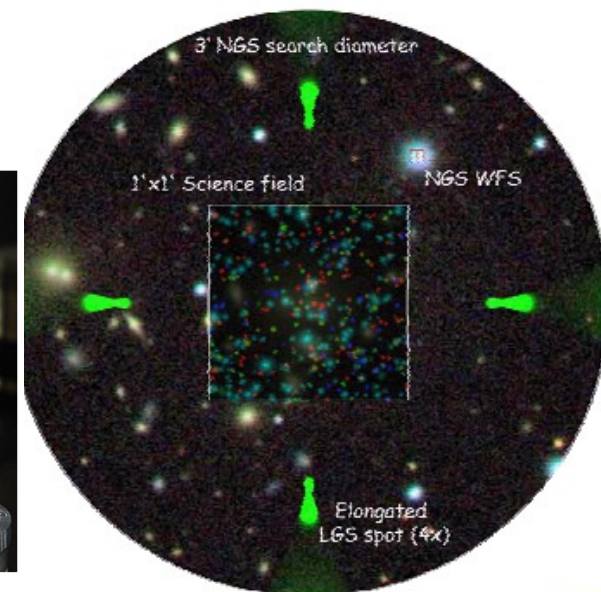
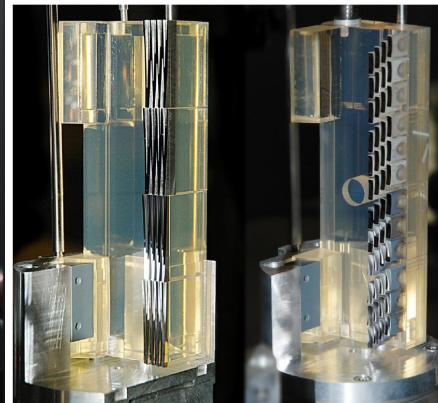
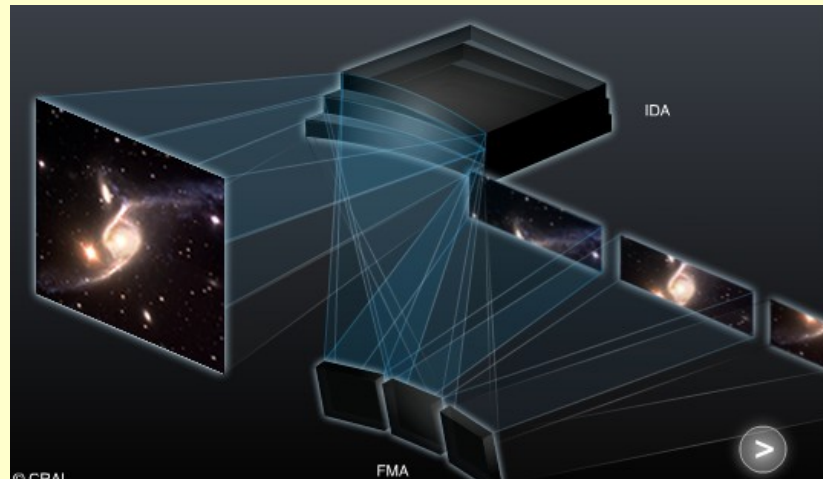


Genzel et al., 2017, Nature

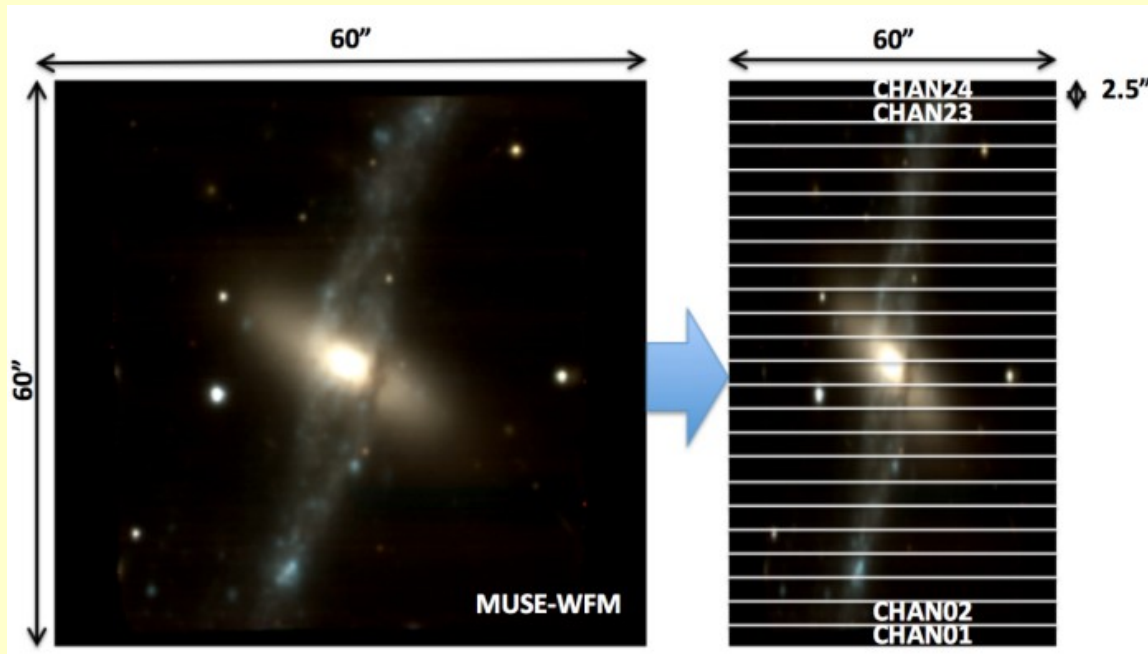
MUSE = Multi Unit Spectroscopic Explorer (VLT)



Observational Parameters	
Spectral range (simultaneous)	0.465-0.93 μm
Resolving power	2000@0.46 μm
	4000@0.93 μm
Wide Field Mode (WFM)	
Field of view	1x1 arcmin ²
Spatial sampling	0.2x0.2 arcsec ²
Spatial resolution (FWHM)	0.3-0.4 arcsec
Gain in ensquared energy within one pixel with respect to seeing	2
Condition of operation with AO	70%-ile
Sky coverage with AO	70% at Galactic Pole
Limiting magnitude in 80h	$I_{AB} = 25.0$ (R=3500)
	$I_{AB} = 26.7$ (R=180)



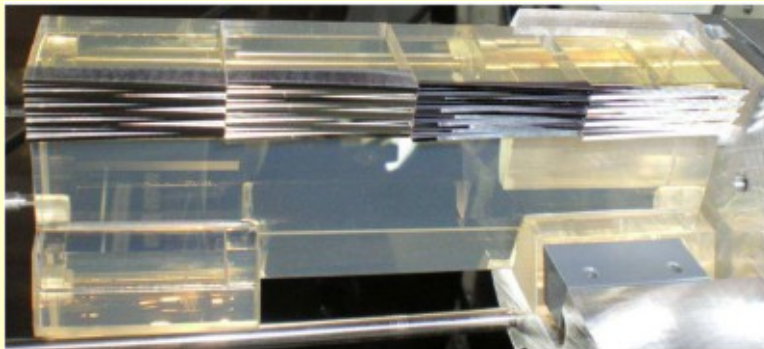
MUSE: slicer & spectrograph



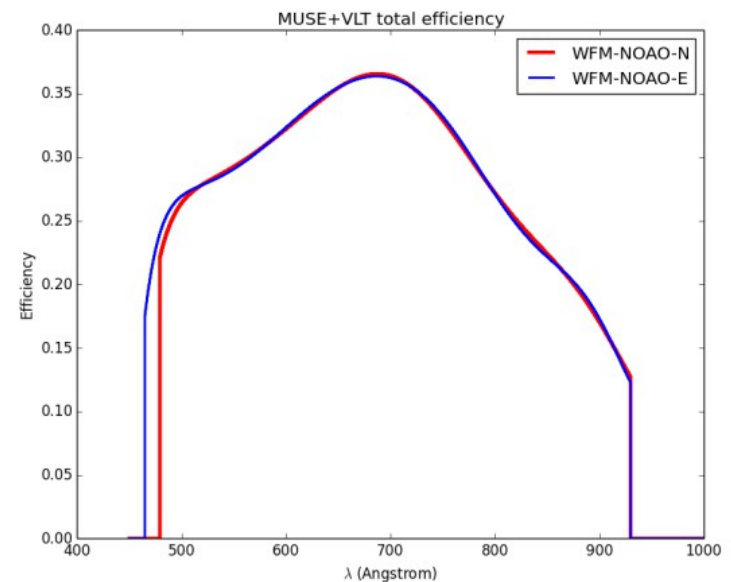
Почти нет подвижных элементов (только решетка)

Рекордная квантовая эффективность на VLT

48 щелей в одном “канале”

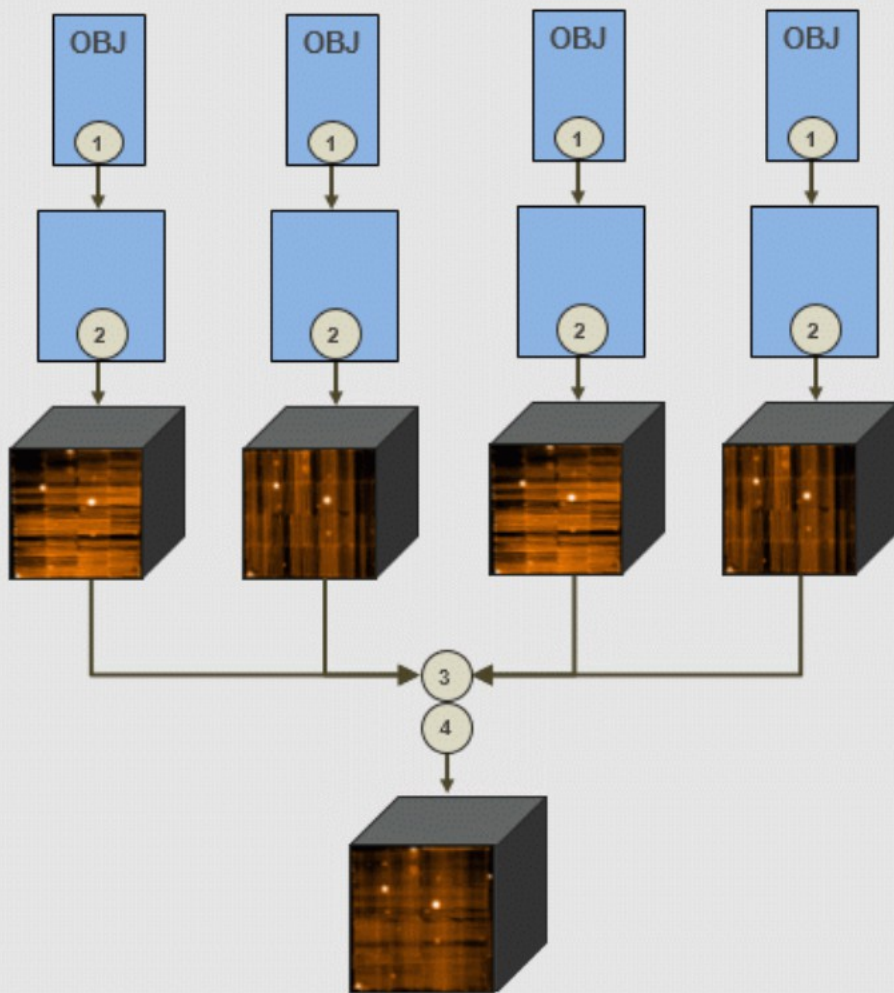


Roland Bacon & K



MUSE: работа с данными

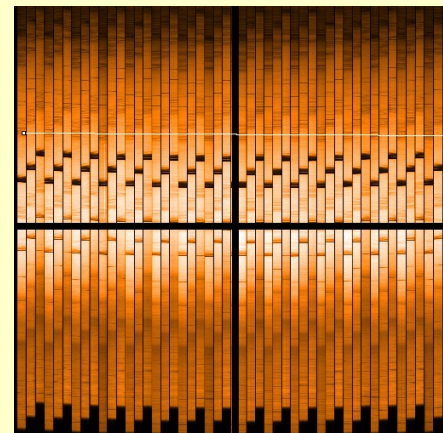
N=4 stack, no SKY



24 кадра с ПЗС 4x4
собираются в один куб
Сырые данные – 820 Мб
Итоговый размер:
315x315 x 3680 px - 2.6 Gb

Рабочая станция:
32 cores
256 GB RAM
Disks: 2x11 Tb

Вычитание неба – построение
модели по измеренной LSF

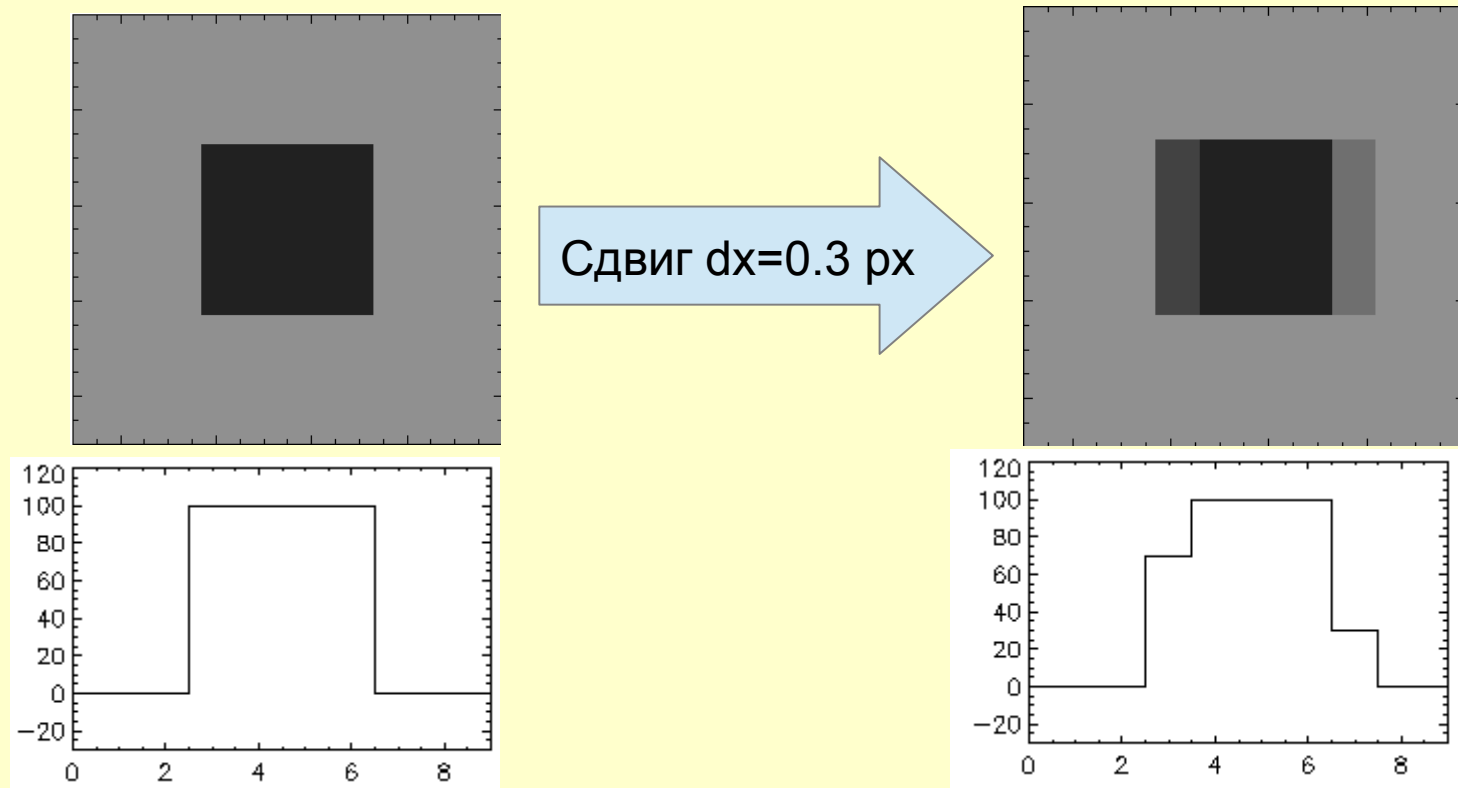


Проблема интерполяции

Лекция 4

“Многорежимный фокальный редуктор...”

Геометрические преобразования — портят исходное изображение, так как выполняется интерполяция на фиксированную координатную сетку

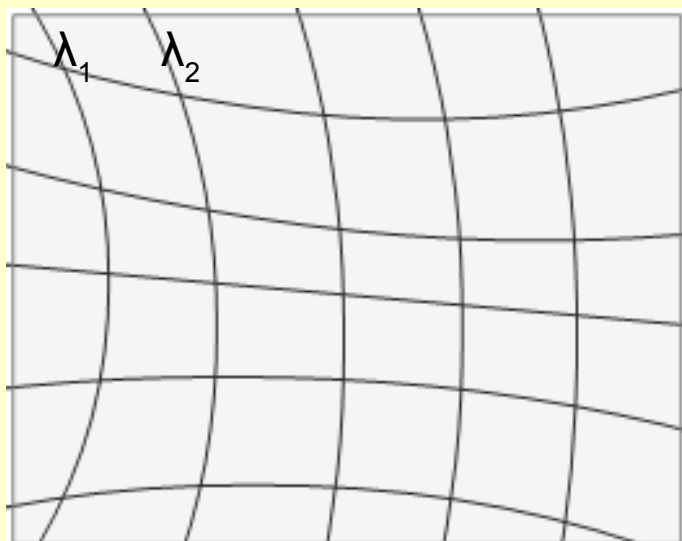


Искусственное разбиение на более мелкие пиксели — лишь частично решает проблему, сильно загружая вычислительные ресурсы

Не объект к калибровкам, а калибровки к объекту!

Обработка современных IFU (MUSE/VLT и т. д.) - идея сохранения первоначальной дискретизации

Т.е. вместо 2D FITS-изображения (запись I в каждом пикселе) — переход к таблицам, где кроме I , в каждом пикселе еще записаны преобразованные координаты (x', y')



В итоге, лишь одно преобразование — экстракция линейаризованного спектра, после вычитания неба и исправления за кривые пропускания!

Но требуется специализированный софт, в том числе и для визуализации на разных этапах обработки

(Лекция 4 “Многорезимный фокальный редуктор...”)

MUSE: Туманность Ориона

6 x 5 arcmin
Weilbacher et al 2015

red: [S II] 6731
blue: Hbeta,
green: [N II] 6584

<http://muse-vlt.eu/science/m42/>



R. Bacon et al.

TIGER the first map:1988

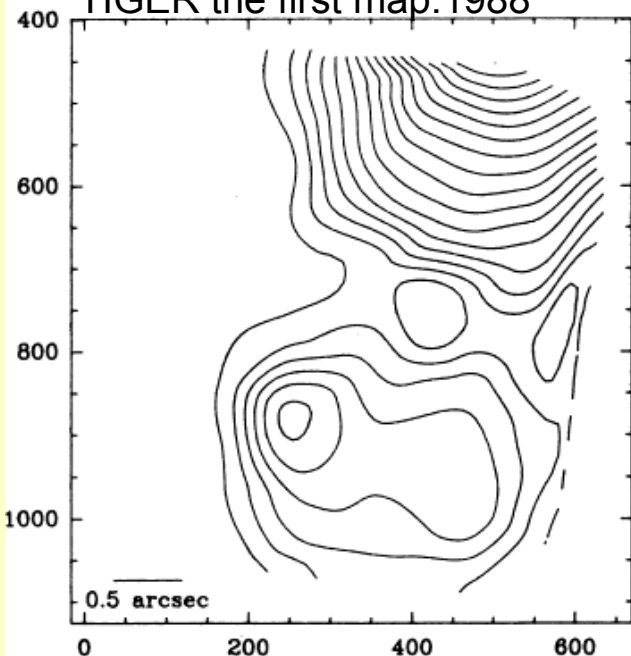
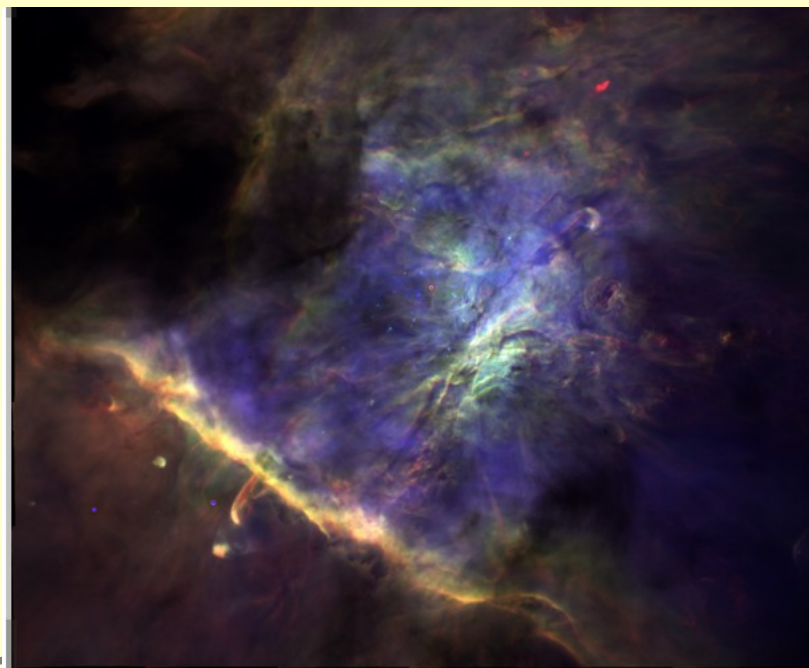
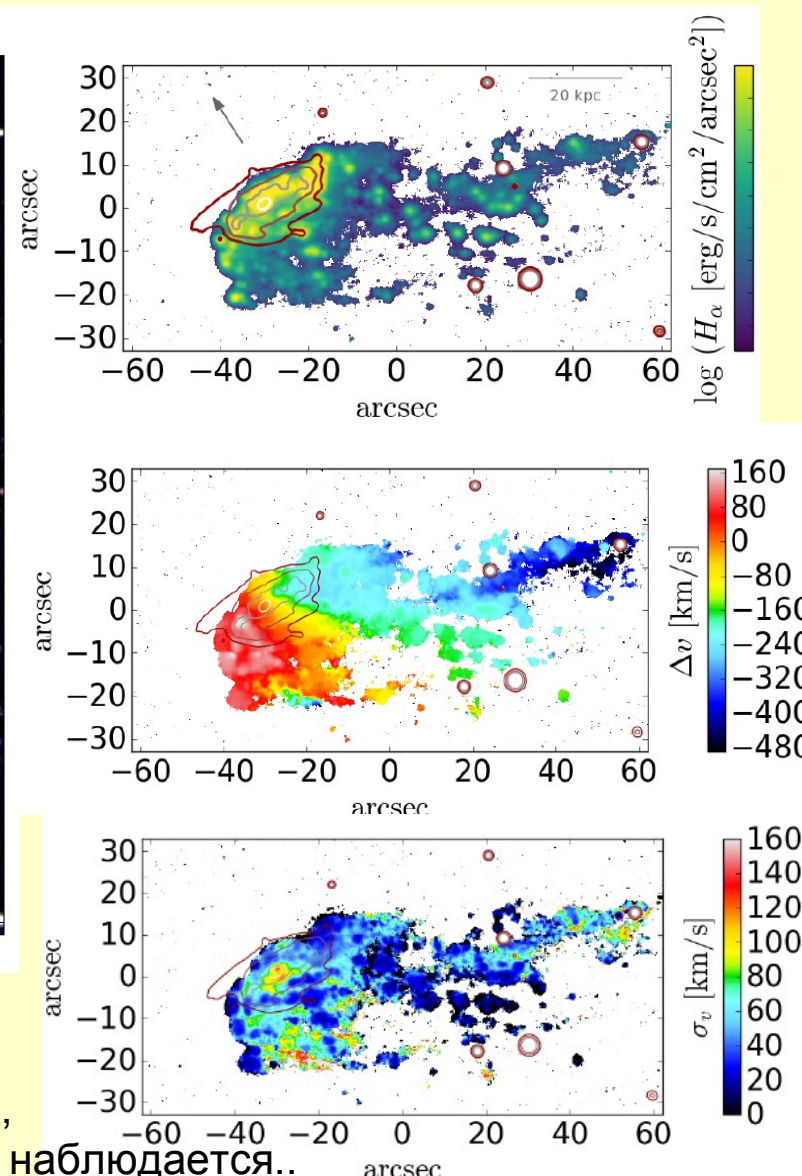
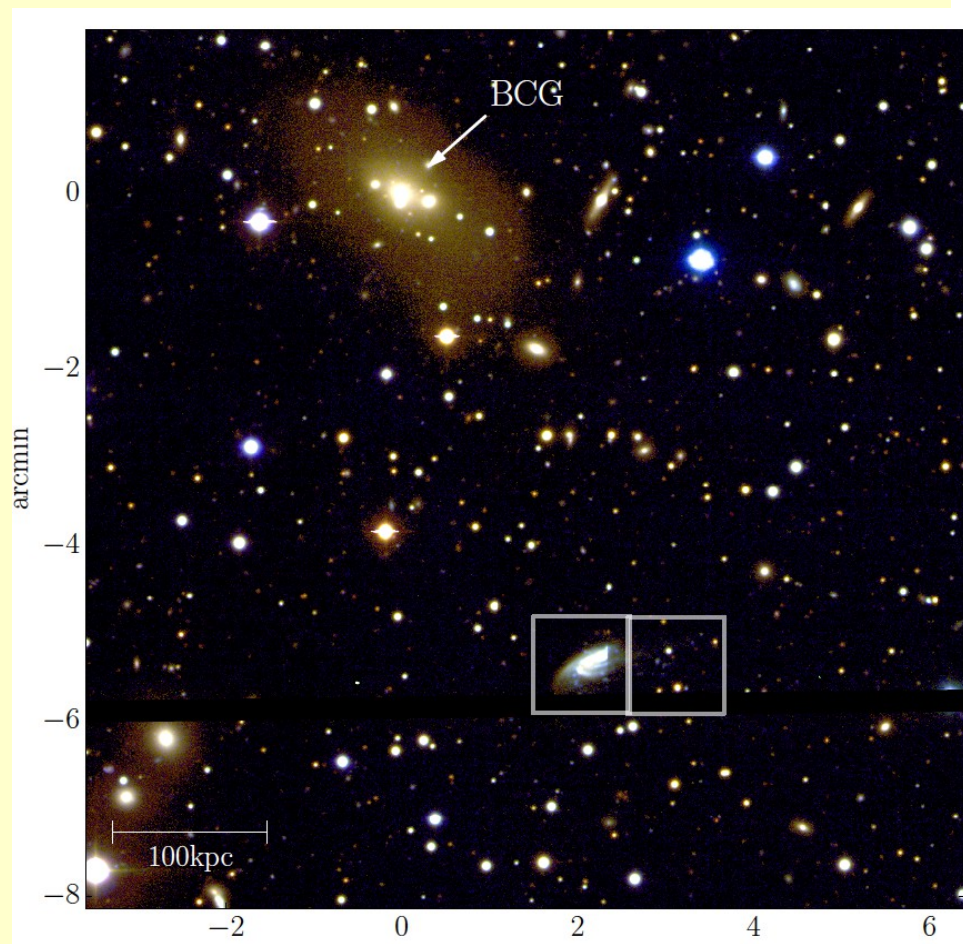


Figure 7 : Monochromatic map in [NII]-Ha
of the nuclear region of M 51

red: [O III] 5007
green: [O II] 7320
blue: [O I] 6300



“Медузы” в скоплениях галактик (ram pressure stripping)



Poggianti+17:

Расчет удерживающих сил и лобового давления, выметание возможно, только для $r > 20$ кпк, что и наблюдается..
Примерно 15% газа покинуло галактику

MUSE: глубокий обзор

Wisotzki + 15

1'x1' поля внутри UHDFS

27 часов экспозиций: 54x30 мин, seeing 0.66"

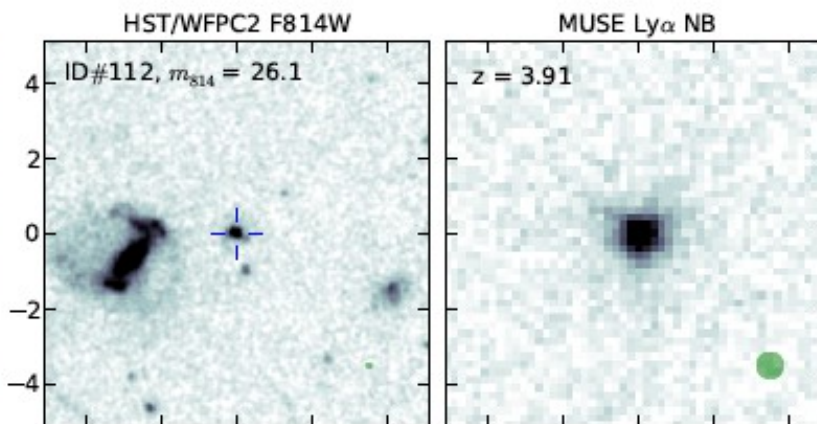
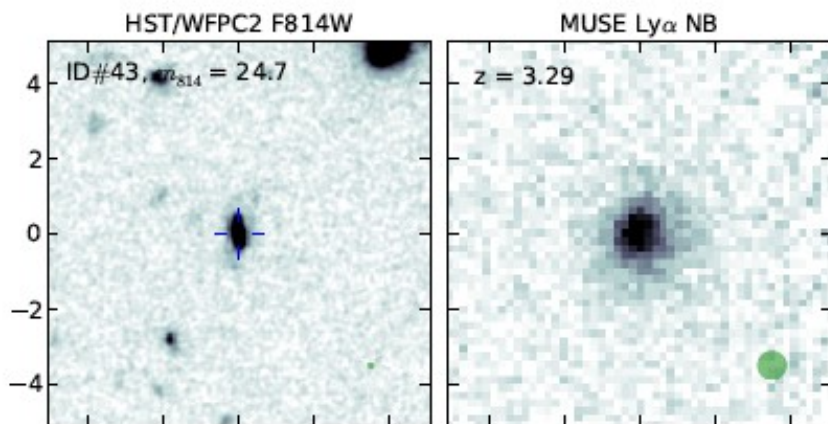
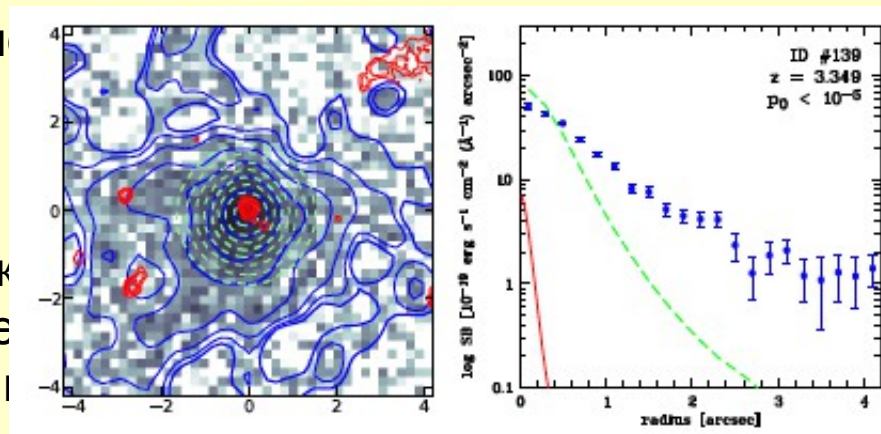
- Разные ориентации поля, тщательное построение PSF по звездам

Неожиданно: $\text{Ly}\alpha$ – гало большие и круглые

Происхождение гало:

Рассеяние фотонов от галактики

на частично нейтральной межгалактической среде. Ранее подозревалось по наблюдениям абсорбции от квазаров, теперь видно и в ЭМИССИИ.

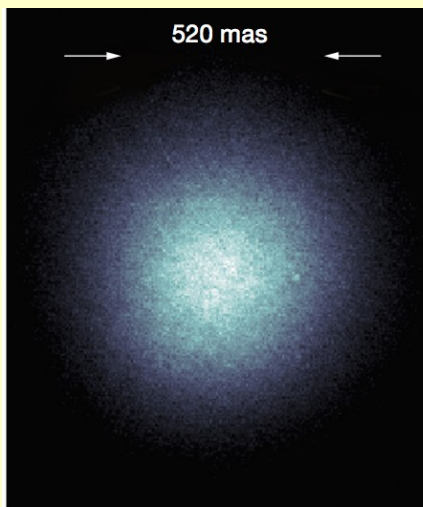
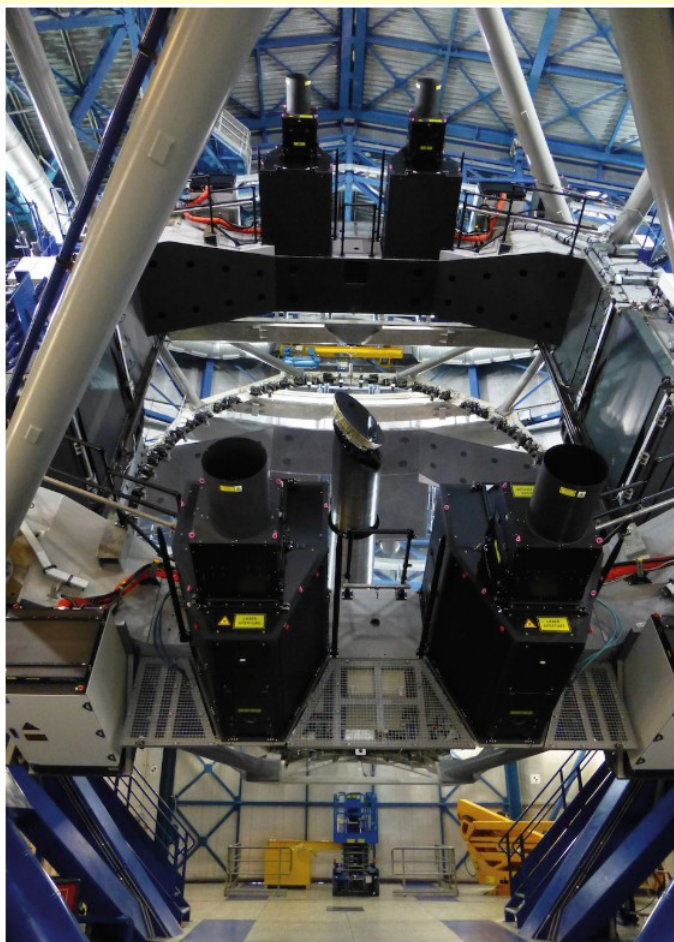


MUSE: адаптивная оптика в "оптике"!

4 лазерных звезды в поле
Планируется начать наблюдения
в этом году.

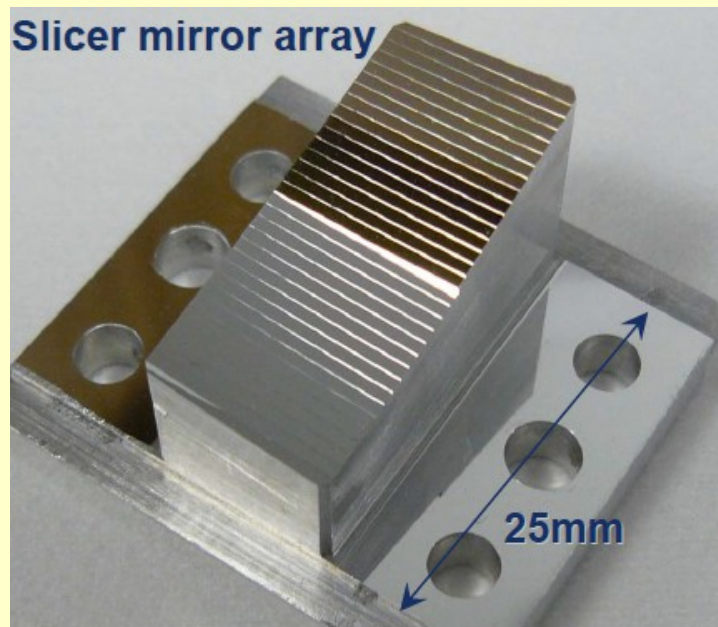
Narrow Field Mode (Not offered yet. To be offered with GALACSI)

Field of view	7.42" x 7.43"
Spatial Sampling	0.025" / pixel
Spatial resolution(FWHM)	0.03" -- 0.05"

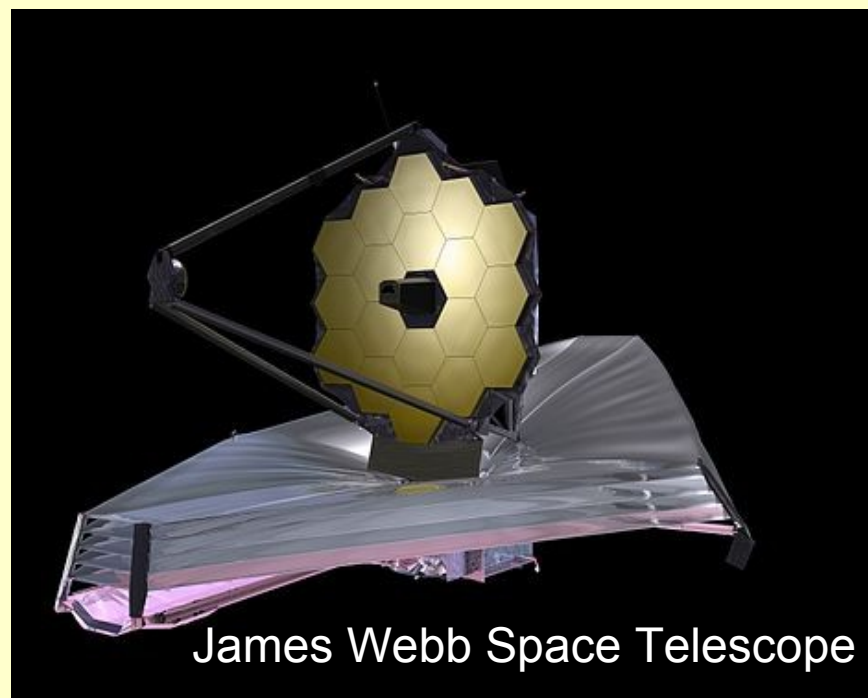


Near-Infrared Spectrometer (NIRSpec): ВЫХОД В КОСМОС В 2018!

Performance wavelength range	0.7 – 5.0 μm (functional range 0.6 – 5.0 μm)
Operating temperature range	30 – 44K (but with full performance at 293K)
Throughput	>50% (8 reflections)

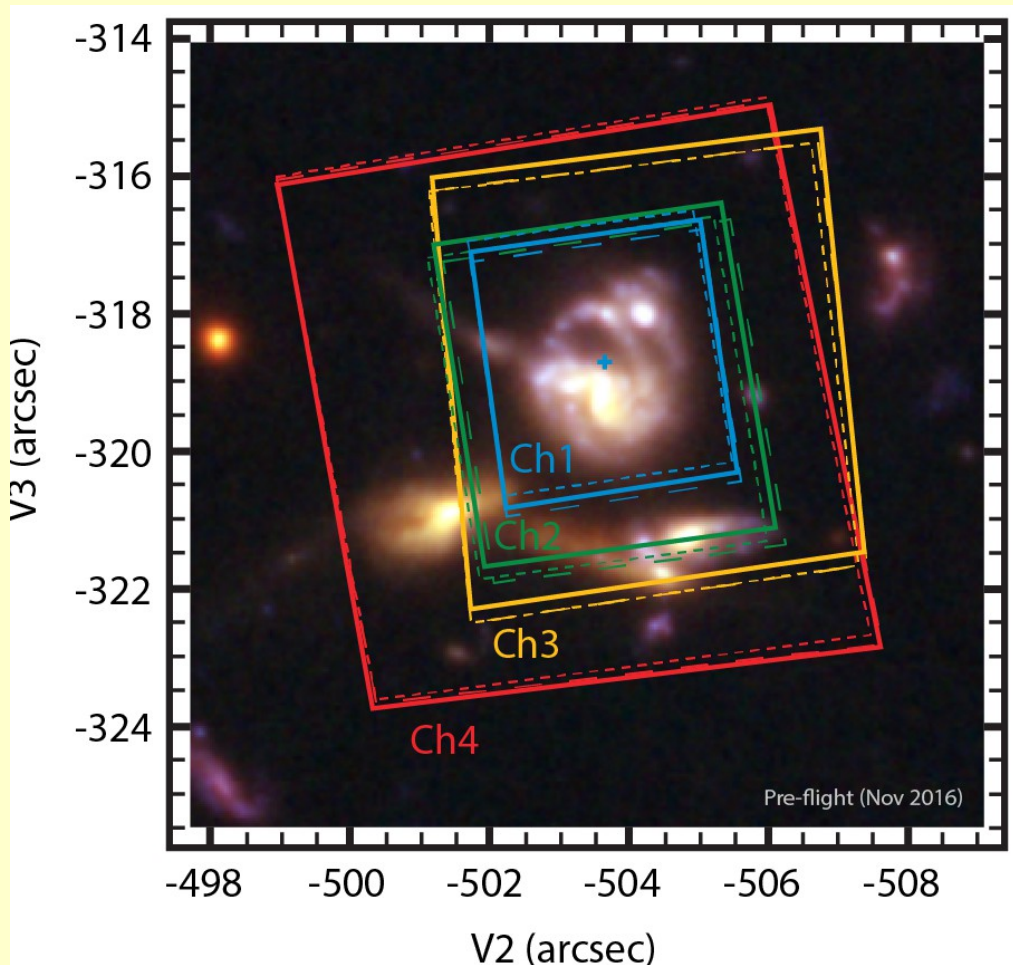


IFU – один из режимов наблюдений
3"x3" с разбиением 0.1"



Mid-Infrared Instrument (MIRI)

4 IFU – отдельно для разных диапазонов в области 4.9- 28.8 μm



FOV name λ -range (μm)	FOV (arcsec)
Channel 1 4.89–7.66	3.3×3.7
Channel 2 7.49–11.71	4.2×4.8
Channel 3 11.53–18.05	5.6×6.2
Channel 4 17.66–28.45	7.2×7.9