

Методы панорамной спектроскопии

Лекция I.

О чём этот курс? Введение:
проблемы классической щелевой спектроскопии, понятие
куба данных. История метода, основные типы
спектрографов.

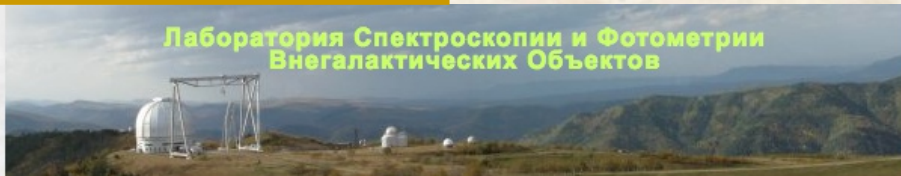
Записи и материалы – ссылки на моей страничке

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

(там же и курс по редуктору светосилы)



Лаборатория Спектроскопии и Фотометрии
Внегалактических Объектов



Алексей Моисеев

[Switch to English](#)

[Основная](#)

[CV](#)

[Публикации](#)

[Конференции](#)

[Лекции](#)

[Студенты](#)

[Семья](#)



E-mail: moisav@sao.ru, moisav@gmail.com

Рабочий телефон: +7-87822-93-396

Здравствуйте! Это личная страничка Алексея Моисеева, д.ф.-м.н., заведующего лабораторией спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов. Я являюсь ответственным за метод наблюдений SCORPIO-2 на 6-м телескопе CAO RAS и прибор MaNGA на 1-м телескопе CAO RAS и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ. Веду астрофизический семинар CAO RAS, являюсь членом редколлегии журналов "Астрофизический бюллетень", "Galaxies" и *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, зам. председателя диссертационного совета 24.1.212.01 CAO RAS, член диссертационного совета ФТИ 34.01.04.2, вхожу в Бюро Научного совета ОФН РАН по астрономии

Мои научные интересы лежат в области внегалактической астрономии с особым вниманием на технику наблюдений:

- Морфология и кинематика галактик различных типов.
- Процессы обратной связи в галактиках: воздействие звездообразования на межзвездную среду, галактический ветер.
- Галактики с активными ядрами и их окружение.
- Методы 3D-спектроскопии: интегрально-полевые спектрографы, сканирующие интерферометры Фабри-Перо.

Постоянно используемые ссылки:



Мои блоги и библиометрия



Google Scholar

R^G



publons

Web of Science

Science Index

ORCID

О чем этот курс?

- Рассмотрим разные реализации метода 3D спектроскопии (*«все классические спектрографы похожи друг на друга, а вот панорамные...»*)
- И то, что делается (и делалось) на БТА в этом направлении
- Основные идеи обработки, анализа и **визуализации** данных
- Примеры применения (больше упор на внегалактические исследования и массовые обзоры).
- Принципы измерения физических параметров галактик и туманностей (кинематика, химсостав, параметры ионизации, звездное население)

Связь с курсом «Многорежимный фокальный редуктор БТА» :

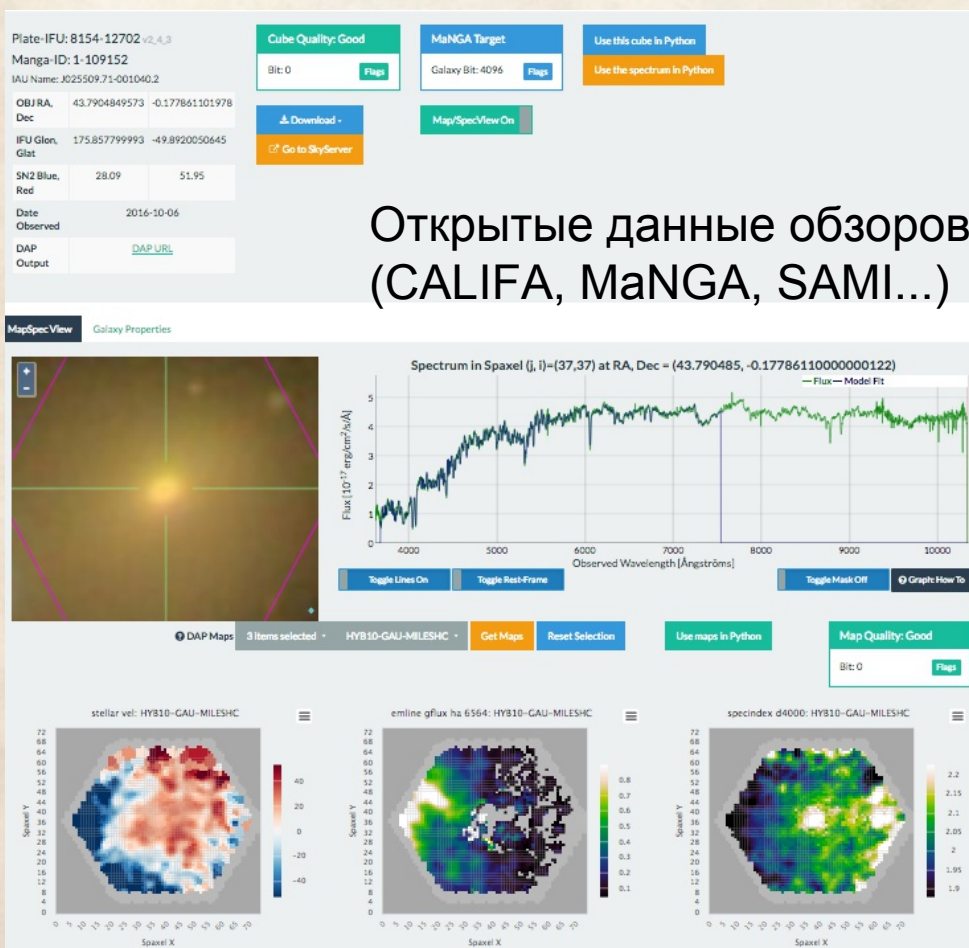
- Напомним базовые понятия (спектрограф, широкощельность)
- Сканирующий интерферометр Фабри-Перо

Зачем этот курс?

Сейчас 3D-спектрографы – на многих средних и больших телескопах

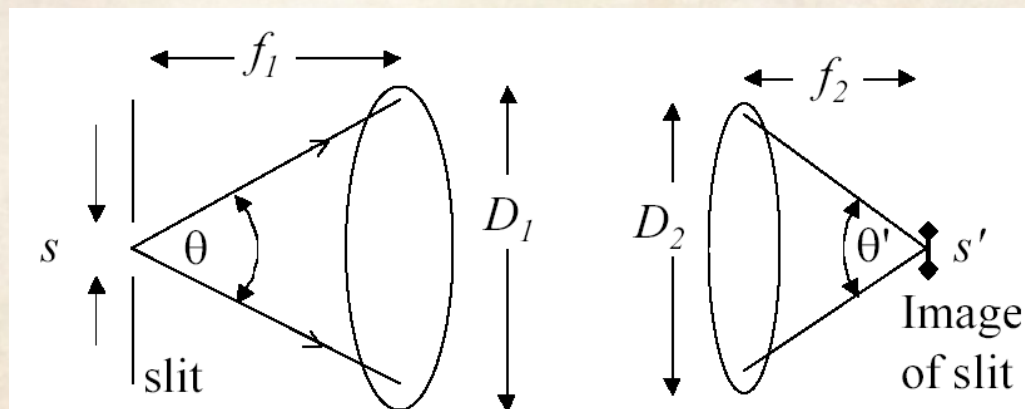
(На 6-м телескопе БТА: SCORPIO-2/IFU & FPI)

Начат обзор LVM/SDSS-V
NIRSpec и MIRI на борту JWST



Oct 7, 2021

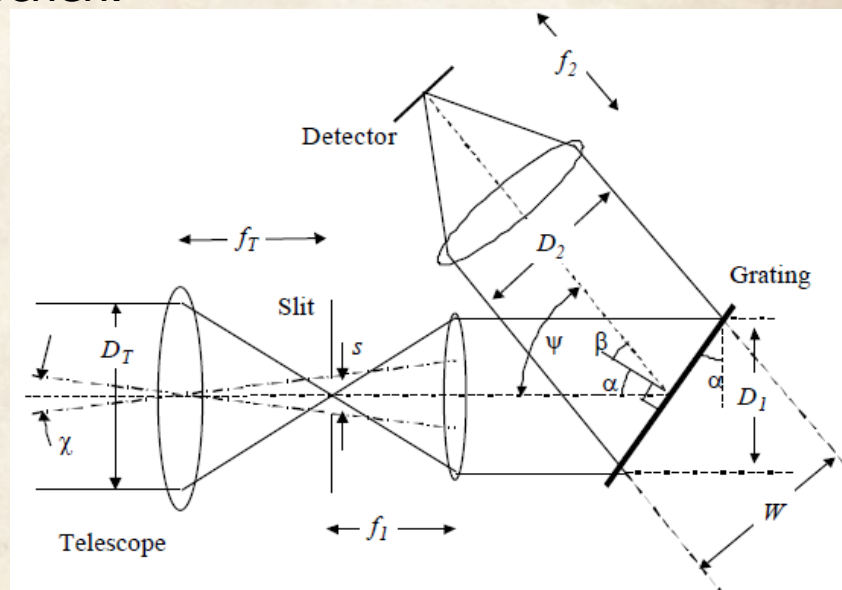
Щель: спектрограф как телескопическая система



$$s' = s \frac{(f_2/D_2)}{(f_1/D_1)}$$

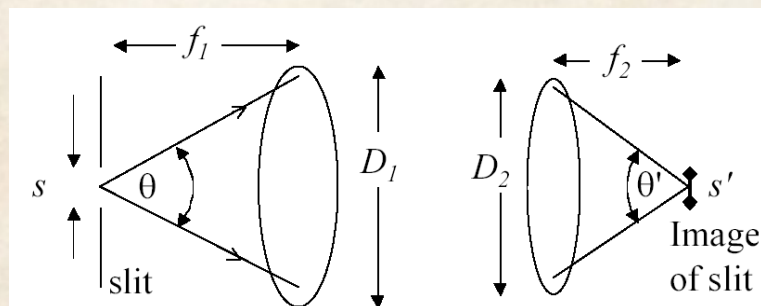
Спектрограф строит серию монохроматических изображений входной щели, поэтому для нас важно только то, что решетка разводит лучи с разными длинами волн, т.е. обладает дисперсией.

См. Лекцию 2
"Многорезимный фокальный редуктор.."



Щель: выбор ширины

На практике, “нормальная щель” – это щель, FWHM которой (в проекции на детектор) равняется 2.5-3 пикселя



$$s = s' \frac{(D_2/f_2)}{(D_1/f_1)} = (2.5 \div 3) \frac{(D_2/f_2)}{(D_T/f_T)} [px]$$

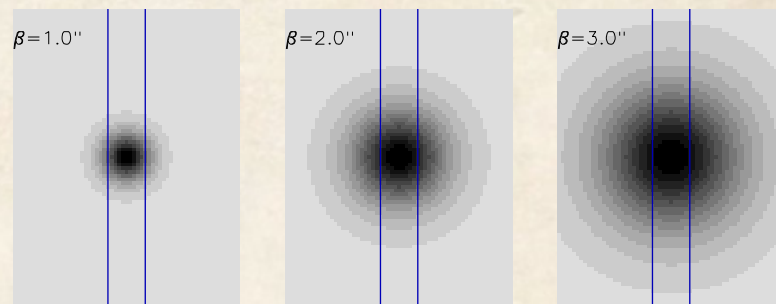
Ширина “нормальной щели” – пропорциональна светосиле камеры, а чем светосильнее камера – тем больше с ней проблем.

С другой стороны, чем шире щель (в угловой мере), тем лучше у **спектрографа широкощельность**.

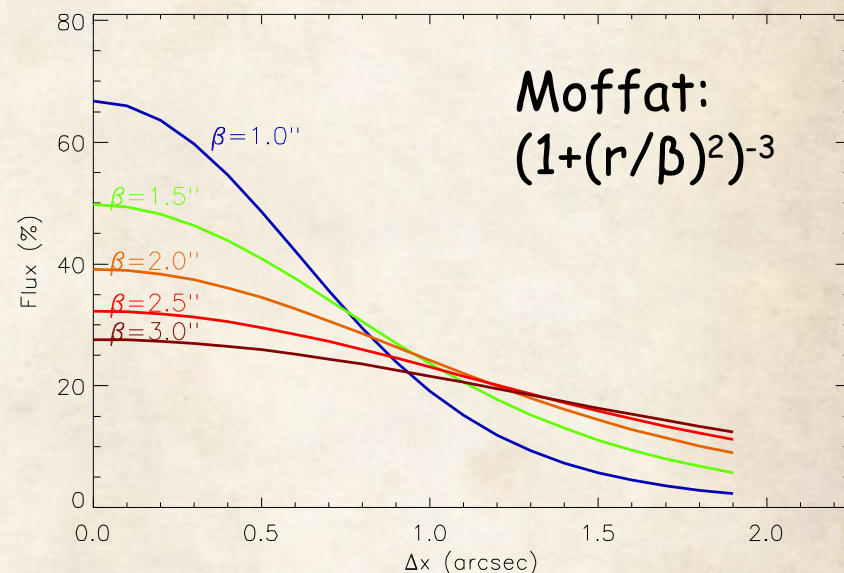
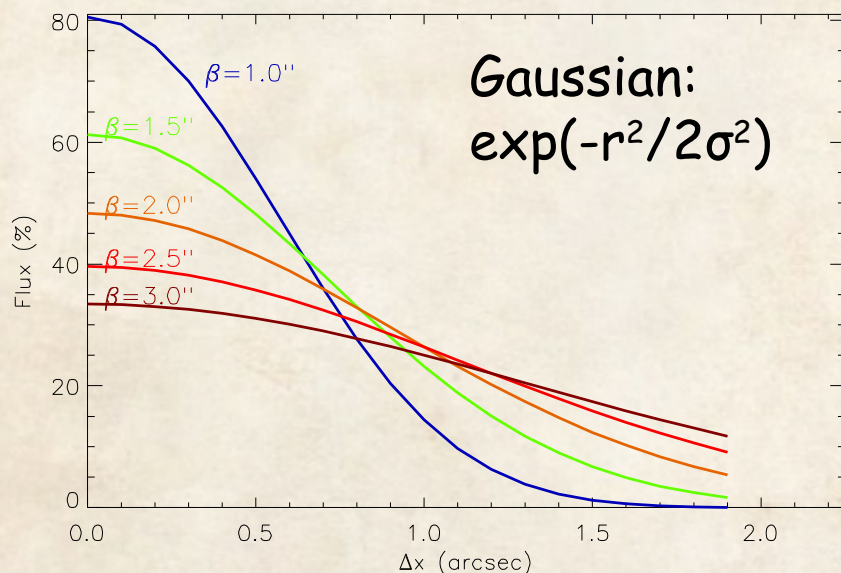
Оптимальная широкощельность – когда ширина нормальной щели равняется пространственному разрешению на телескопе (в наших условиях это размер звездных изображений – seeing)

Щель: потери света

Поправка за щель зависит не только от качества изображений, но и от точности наведения



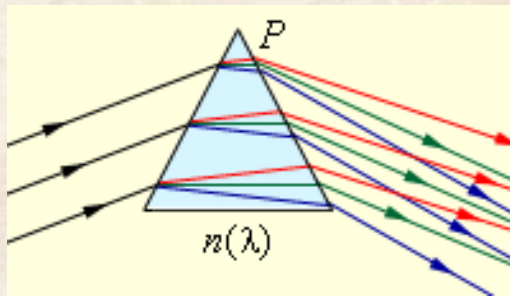
Расчет потерь света на 1'' щели для двух вариантов функций распределения:



См. Лекцию 2

"Многорезимный фокальный редуктор.."
и статью Мусеев (2008AstBu..63...70)

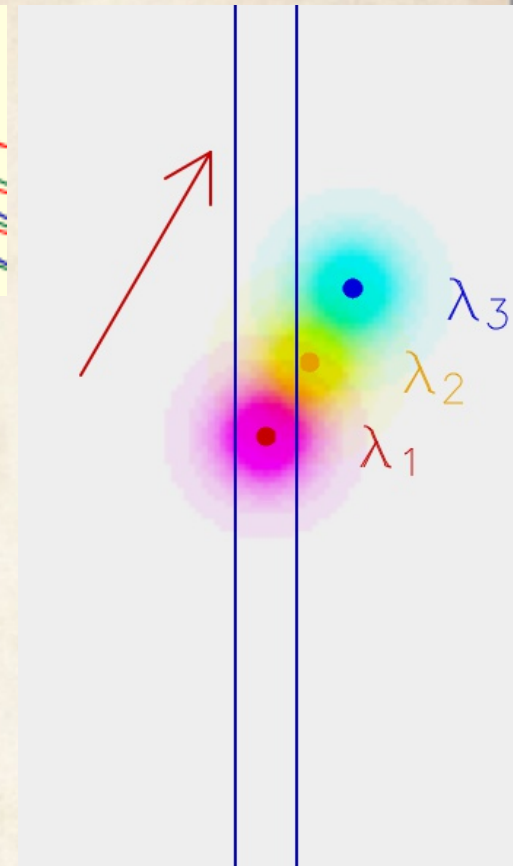
Атмосферная дисперсия



Она же дифференциальная рефракция атмосферы: изменение угла рефракции светового луча от его длины волны.

Атмосферная дисперсия и САО:

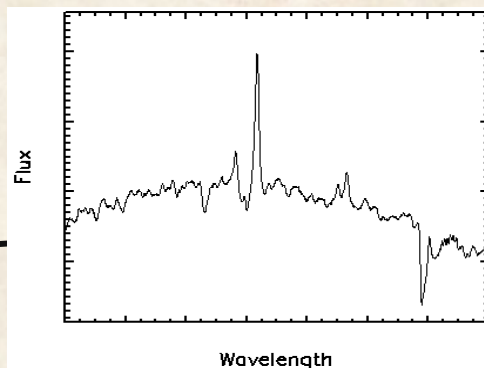
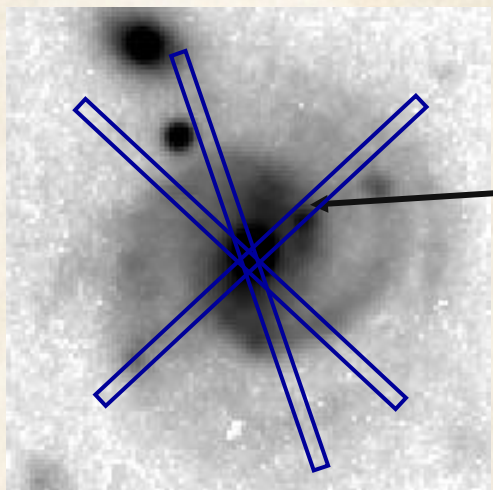
Спекл-интерферометр БТА имеет компенсатор атмосферной дисперсии



Надо стараться, чтобы щель спектрографа совпадала с направлением атмосферной дисперсии, т.е. была вертикальна.

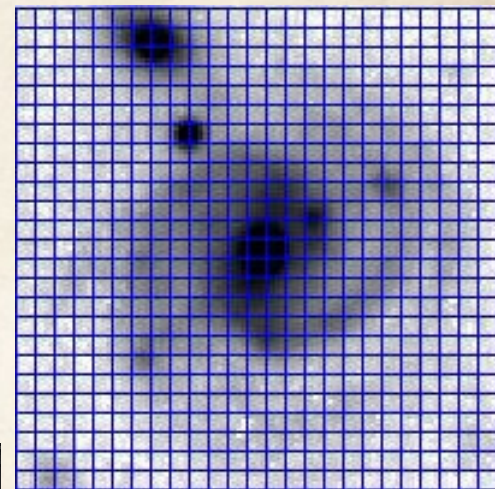
Сравнение щелевой и панорамной спектроскопии

(длинная щель)

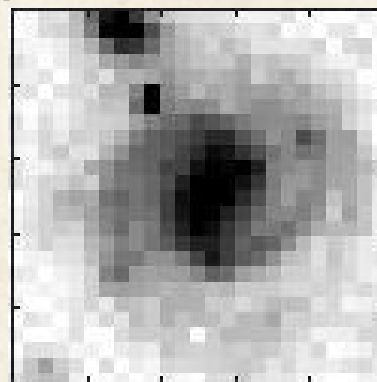
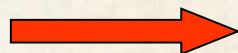
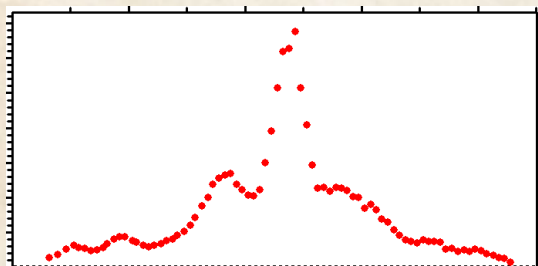


Монохроматическое
изображение

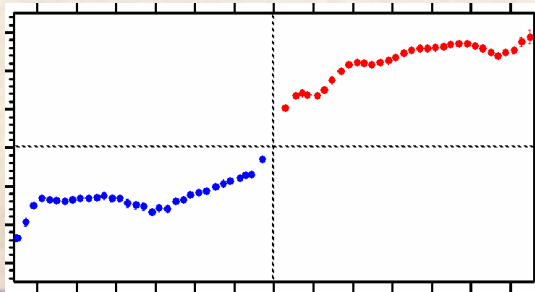
3D



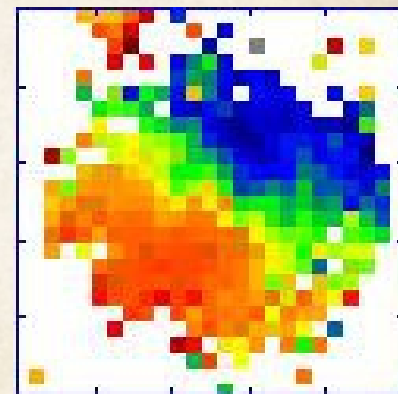
Потоки в линиях



Лучевые скорости



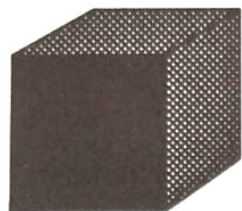
Поле скоростей



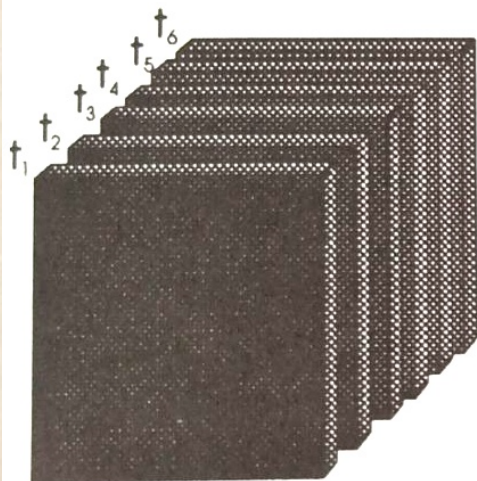
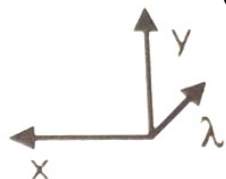
3D (панорамная) спектроскопия: куб данных

3D SPECTROSCOPY WITH LARGE TELESCOPES

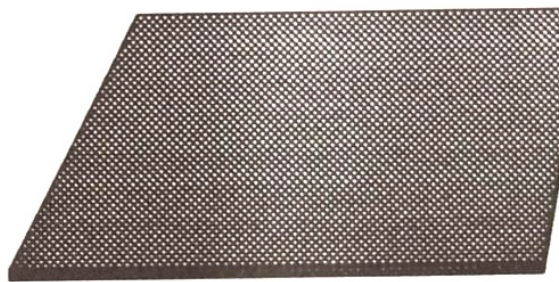
G. Monnet (1995)



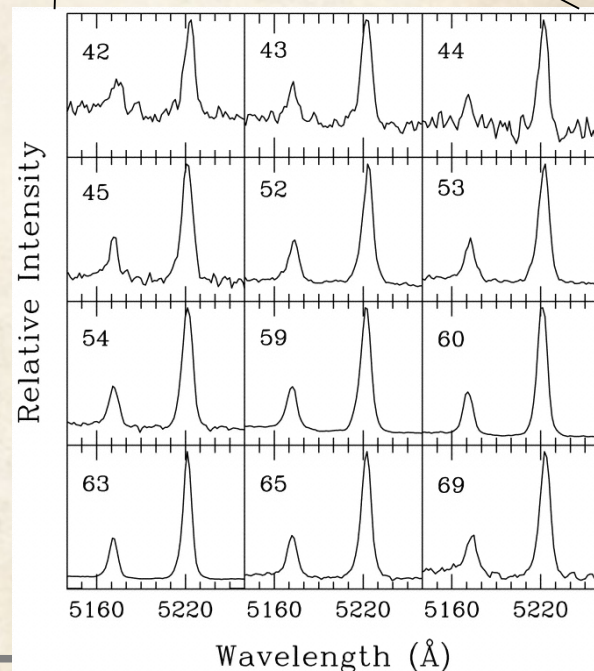
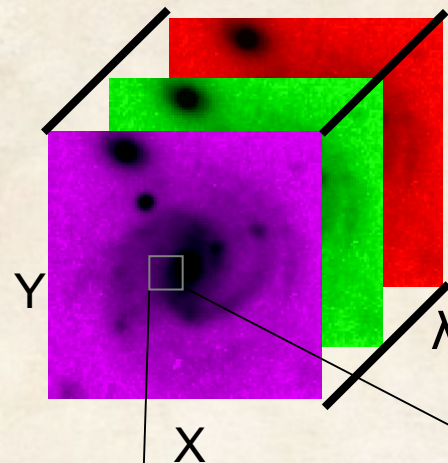
TIGER



FABRY-PEROT

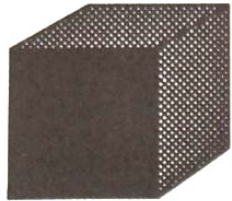


LONG-SLIT

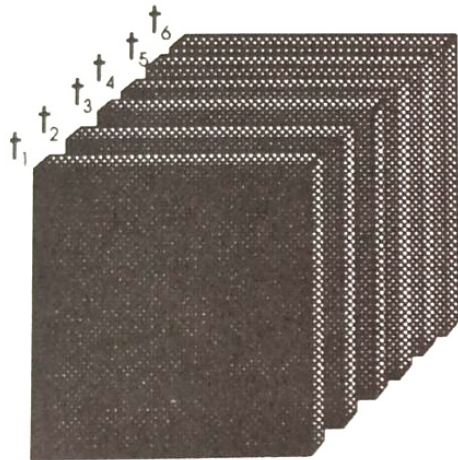
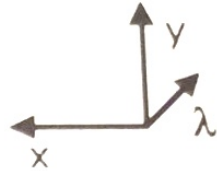


3D (панорамная) спектрографы

3D SPECTROSCOPY WITH LARGE



TIGER



FABRY-PEROT

Интегрально-полевые спектрографы:
(FOV < 10-20", $\Delta\lambda > 1000\text{\AA}$, $R = \lambda/\delta\lambda < 2000$)

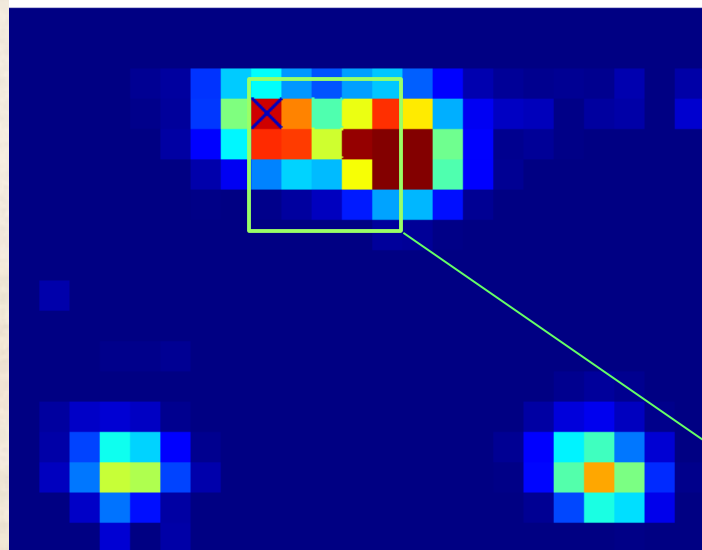
- Жгуты световолокон (SILFID, 1980)
- Микролинзы (TIGER, 1988)
- Волокно+линза (MPFS, 1990)
- Резатель (SPIFFI, 2003)

Мультиплексные (сканирующие):
(FOV > 3', $\Delta\lambda = 10-200\text{\AA}$, $R > 2000-10\,000$)

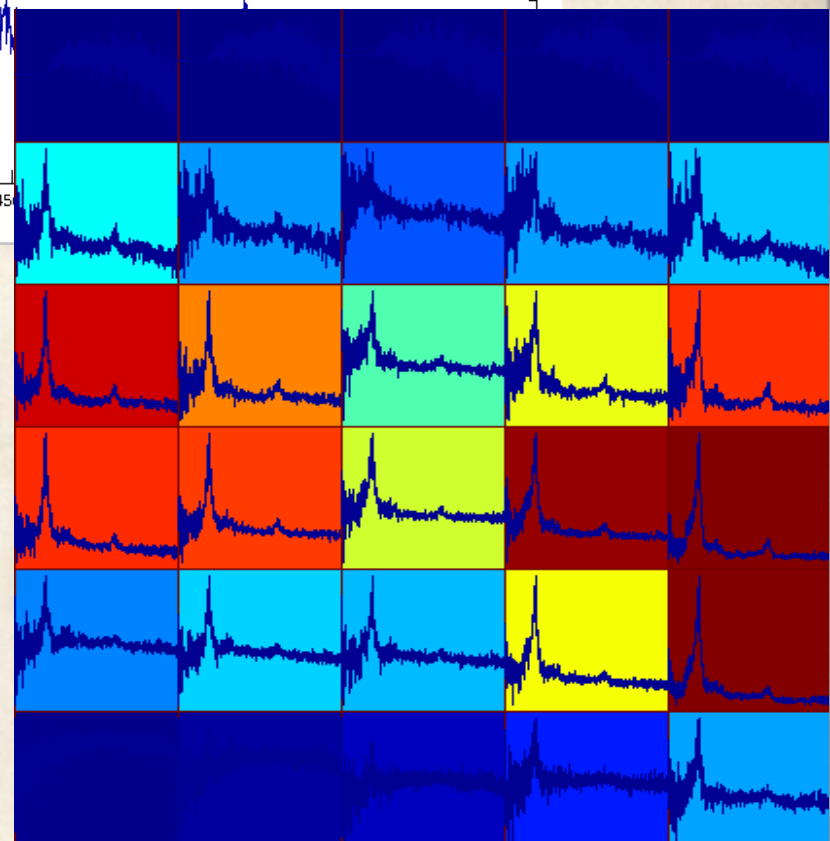
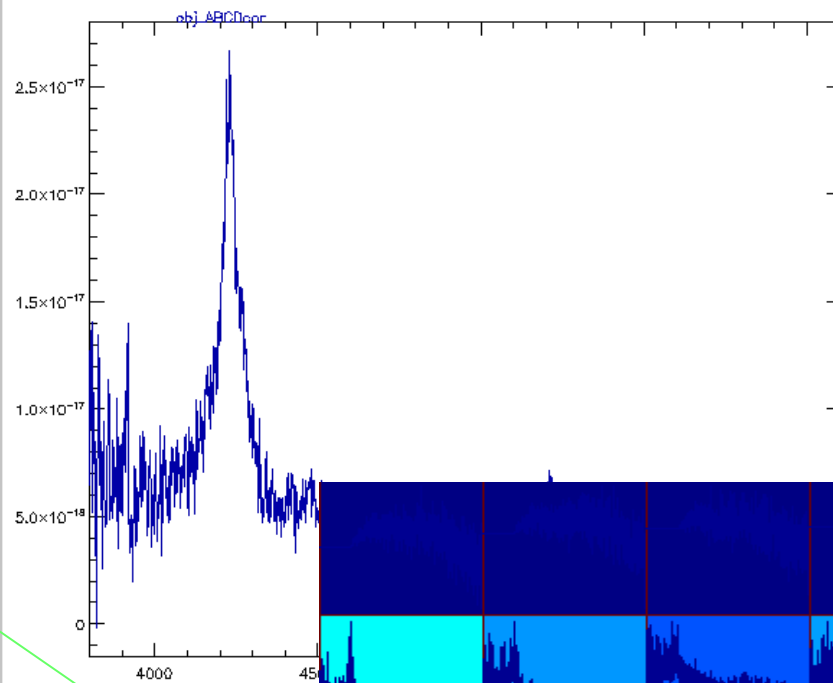
- Интерферометры Фабри-Перо
- Фурье-спектрографы
- Акустооптические фильтры

Первый куб данных (в оптике):
Tully (1974) с ИФП

MPFS: J1004+4112



Popovic, Afanasiev + 2020



Терминология

- **2D** (bidimensional) спектроскопия к концу 90г — началу 00х превратилась в **3D** (tridimensional)... Метод не менялся, но большее число размерностей выглядело солидней, куб все-таки
- Сейчас чаще говорят просто «3D», или «integral-field», **если это не интерферометр Фабри-Перо или не Фурье-спектрограф**
- **IFS**=Integral-field spectrograph/spectroscopy
- **IFU**=Intergal Field Unit — обычно, если эта часть многорежимного прибора
- **Куб данных** (data cube) — пришел из радиоастрономии, вместе с многомерным FITS
- Spaxel = **Spatial pixel** — пространственный элемент

Основные астрофизические приложения

1. Центральные области близких галактик:

- движения ионизованного газа и звезд
- звездное население, химически выделенные ядра
- AGN: характеристики газа вблизи активного ядра

2. Далекие объекты:

- Эволюция радиогалактик
- Ионизованный газ в оболочках квазаров
- Гравитационные линзы

3. Наша Галактика:

- джеты из молодых звезд, объекты Хербига-Аро
- туманности вокруг массивных звезд (WR и LBV)
- остатки взрыва сверхновых

4. Спектроскопия звездообразных объектов на ярком фоне

- планетарные туманности, уникальные звезды в других галактиках

История метода: вновь, первым был G. Courtes...

Courtès (1960s) — возрождение наблюдений с эталоном Фабри-Перо

Courtès (1980) — описана идея спектрографа интегрального поля

Courtès (1982) — идея волоконного блока в сочетании с линзовым

Bacon et al (1988) — TIGER (линзы)/CFHT

Afanasiev et al (1990) — MPFS (линзы + волокна)/БТА

Далее везде, на больших и малых телескопах.

В космосе — уже на JWST

Прототип IFS

Vanderriest (1980):

2.2m Mauna Kea

Total of 205 fibers, 100μm core

A FIBER-OPTICS DISSECTOR FOR SPECTROSCOPY OF NEBULOSITIES AROUND QUASARS AND SIMILAR OBJECTS

C. VANDERRIEST*

Observatoire de Paris-Meudon, Meudon, France

C. VANDERRIEST

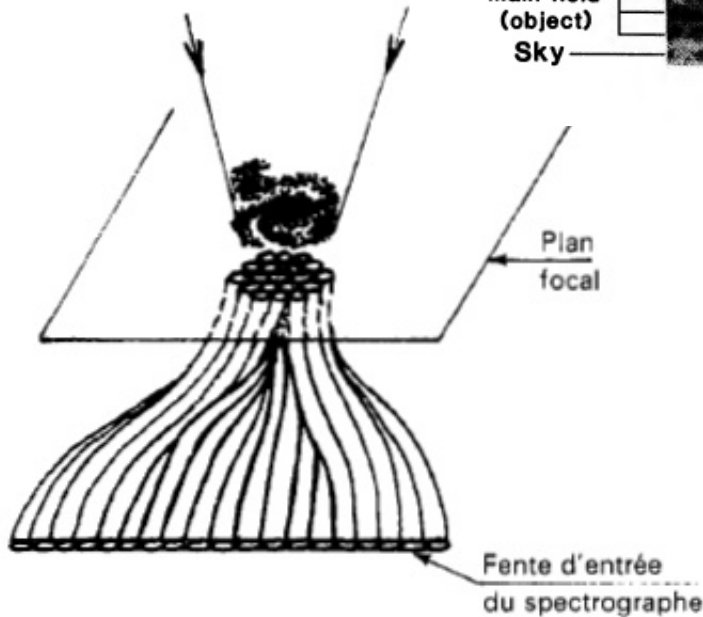
O III 4959-5007

Night Sky Lines

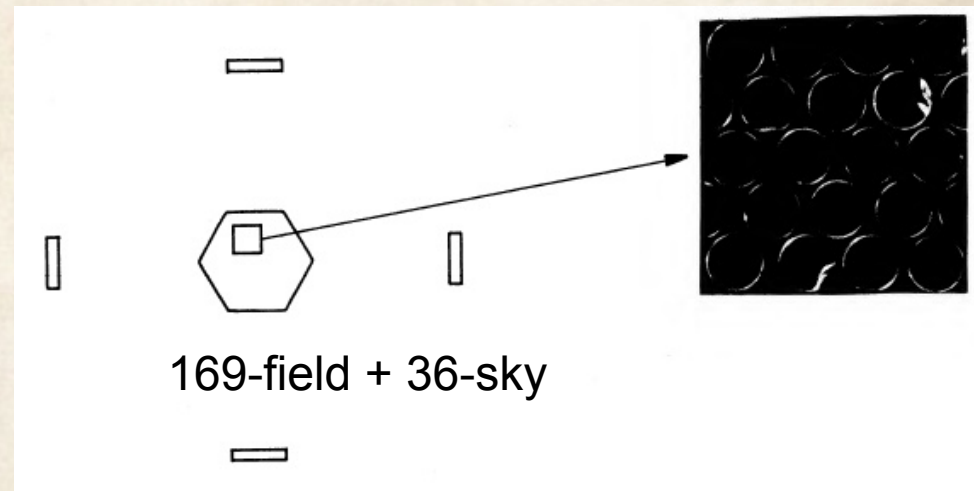
Successive
rows of
main field
(object)
Sky



FIG. 2—Part of a spectrum of 3C 120 nebula (regions A and B of Fig. 3). Exposure: 20 mn.



Configuration « Argus »



C. VANDERRIEST, G. COURTÈS, J. DONAS

J. Optics (Paris), 1984, vol. 15,

Со своим фокальным редуктором Куртес неоднократно приезжал на наш 6-м телескоп, тогда крупнейший в мире. Фото из сборника ["История САО РАН в фотографиях 1965-2010"](#):



Georges Courtès



24 avril 1925 - 31 octobre 2019

L'Académie des sciences a le plaisir de faire part du décès de Georges Courtès le 31 octobre 2019, à l'âge de quatre-vingt-quatre ans. Il avait été élu à l'Académie le 8 mars 1982,

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.

<https://moisav.livejournal.com/494842.html>

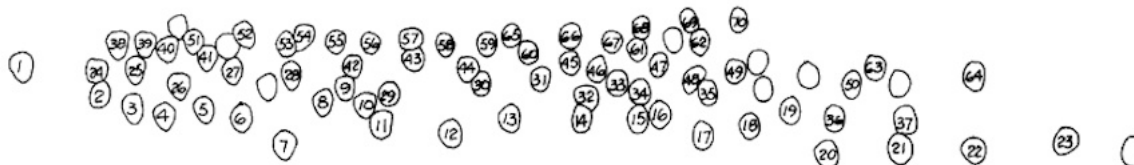
An Integral Field Spectrograph (IFS) for Large Telescopes

Courtes 1982:

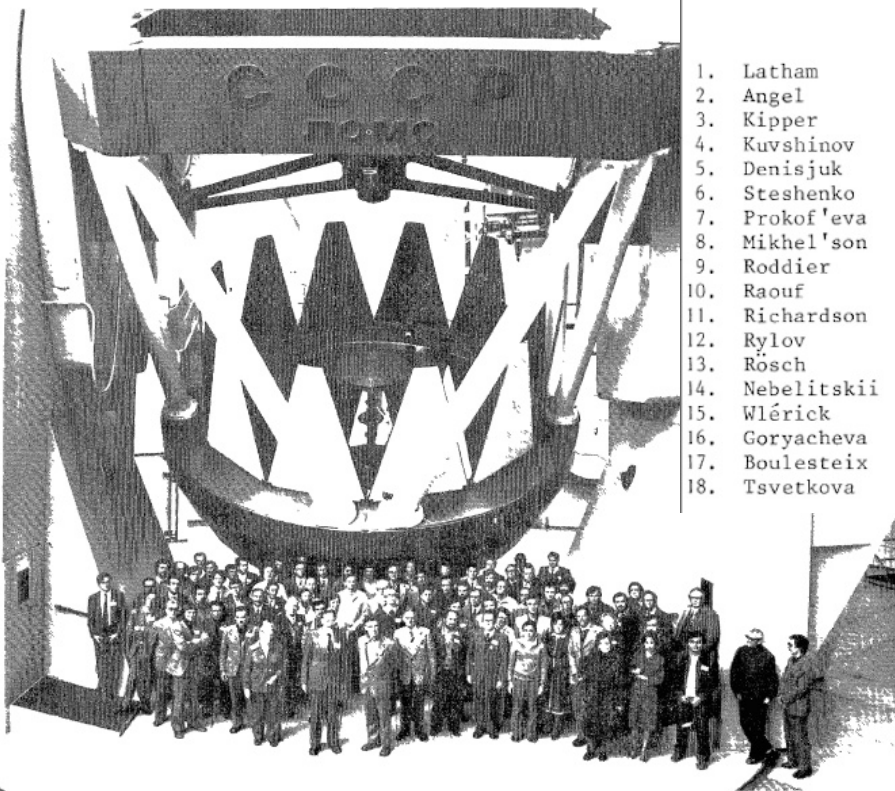
Instrumentation for Astronomy
Telescopes,
Proceedings of IAU Colloq. 67,
Zelenchukskaya, USSR, Septe

ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE LIBRARY

KEY TO CONFERENCE PHOTOGRAPH



- | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1. Latham | 19. Korovyakovskii | 37. Drazdis | 55. Esipov |
| 2. Angel | 20. Dokuchaeva | 38. Dodonov | 56. Pronik |
| 3. Kipper | 21. Kim | 39. Afanas'yev | 57. Fossatt |
| 4. Kuvshinov | 22. Iliev | 40. Pimonov | 58. Fomenko |
| 5. Denisjuk | 23. Korol'kov | 41. Barnes | 59. Ioannisiani |
| 6. Steshenko | 24. Amirkhanian | 42. Ribes | 60. Zaratsian |
| 7. Prokof'eva | 25. Humphries | 43. Harmer, C.F.W. | 61. Burenkov |
| 8. Mikhel'son | 26. Picat | 44. Brown | 62. Sisask |
| 9. Roddier | 27. Lipovetskii | 45. Lipatov | 63. Murdin |
| 10. Raouf | 28. Shcherbakov | 46. Gyavgyanzen | 64. Kopylov |
| 11. Richardson | 29. Harmer, D. | 47. Chentsov | 65. Kiselev |
| 12. Rylov | 30. Dravins | 48. Chkhikvadze | 66. Nevskii |
| 13. Rosch | 31. Glagolevskii | 49. Korol' | 67. Nazarenko |
| 14. Nebelitskii | 32. Alekseyev | 50. Kuz'menkov | 68. Drabek |
| 15. Wlérick | 33. Malarev | 51. Karachentsev | 69. Romanyuk |
| 16. Goryacheva | 34. Dudinov | 52. Notni | 70. Lelièvre |
| 17. Boulesteix | 35. Somov | 53. Beckers | 71. Petrov |
| 18. Tsvetkova | 36. Zdanavicius | 54. Shcheglov | 72. Maillard |



D. REIDEL PUBLISHING COMPANY

DORDRECHT, HOLLAND / BOSTON, U.S.A. / LONDON, ENGLAND

Courtes (1982): Integral Field Spectrograph

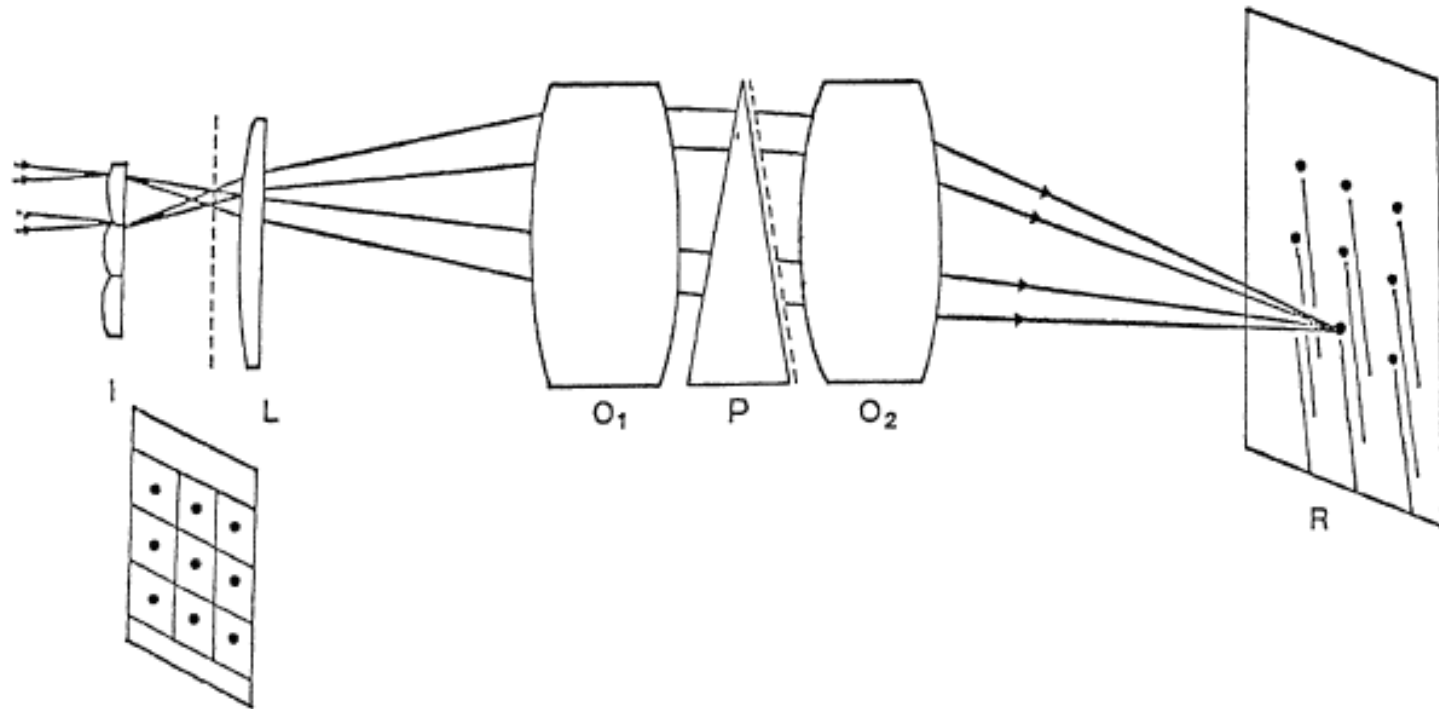


Figure 1. Integral Field Spectrograph: The array of lenses I is placed in the telescope focal plane and produces a chequer pattern of exit pupils; the focal reducer LO_1O_2 , equipped with a Carpenter prism-grating P, gives a two-dimensional distribution of the spectra corresponding to each pupil.

Courtes (1982): волоконная технология

using them in series with a multi-lens array. The flux Φ_1 admitted at the front end of a fibre bundle is limited for two reasons:

- (1) for a hexagonal distribution of fibres (Figure 2), Φ_1 is less than the incident flux Φ_0 and even in the most favourable case $\Phi_1 = 0.89\Phi_0$
- (2) the diameter of the most efficient area is related to the type of fibre used but is always smaller (dotted circle in Fig. 2) than the fibre diameter (in the mode of reflection or refractive index variations). Other losses are due to defects of the circular contour of the fibres.

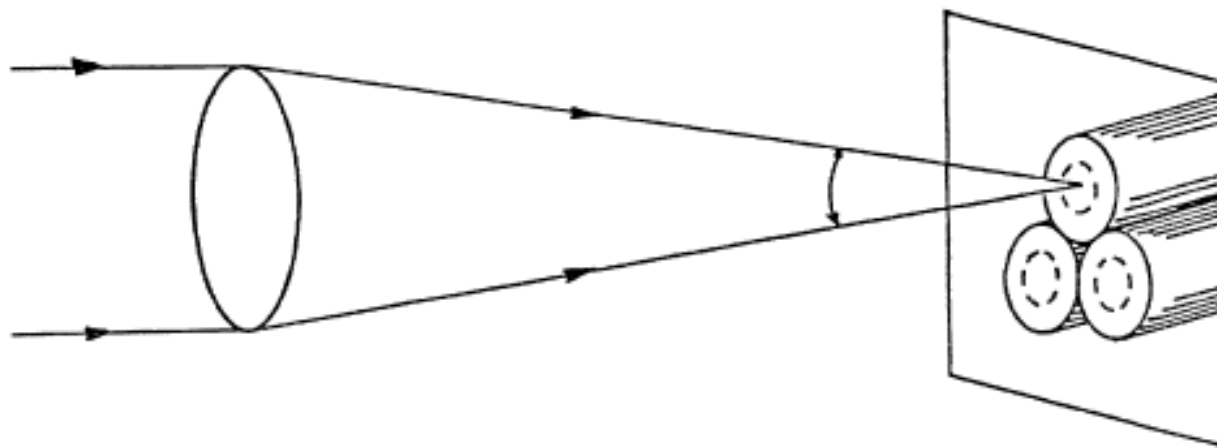


Figure 2. Hexagonal distribution of fibres; the zone of high efficiency at the entrance to each fibre is the core denoted by a dotted circle.

Courtes (1982): микролинзы + волокно

ABSTRACT: A combination of an array of small lenses together with fibre optics can be used to produce a high transmission spectrograph which can record the spectra of many image elements simultaneously. Such a design may play an important role in ground based observations preparing for the NASA-ESA Space Telescope programmes.

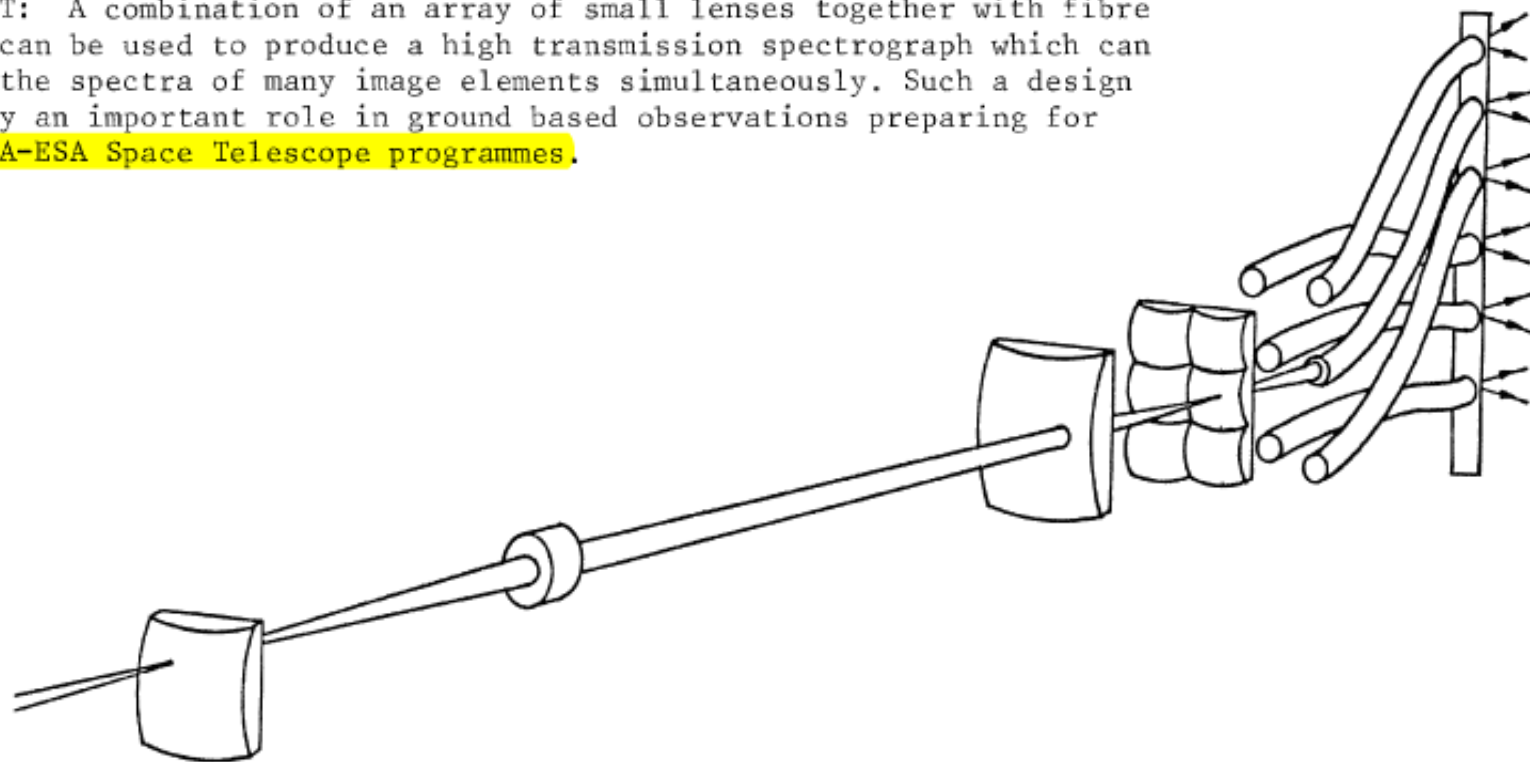
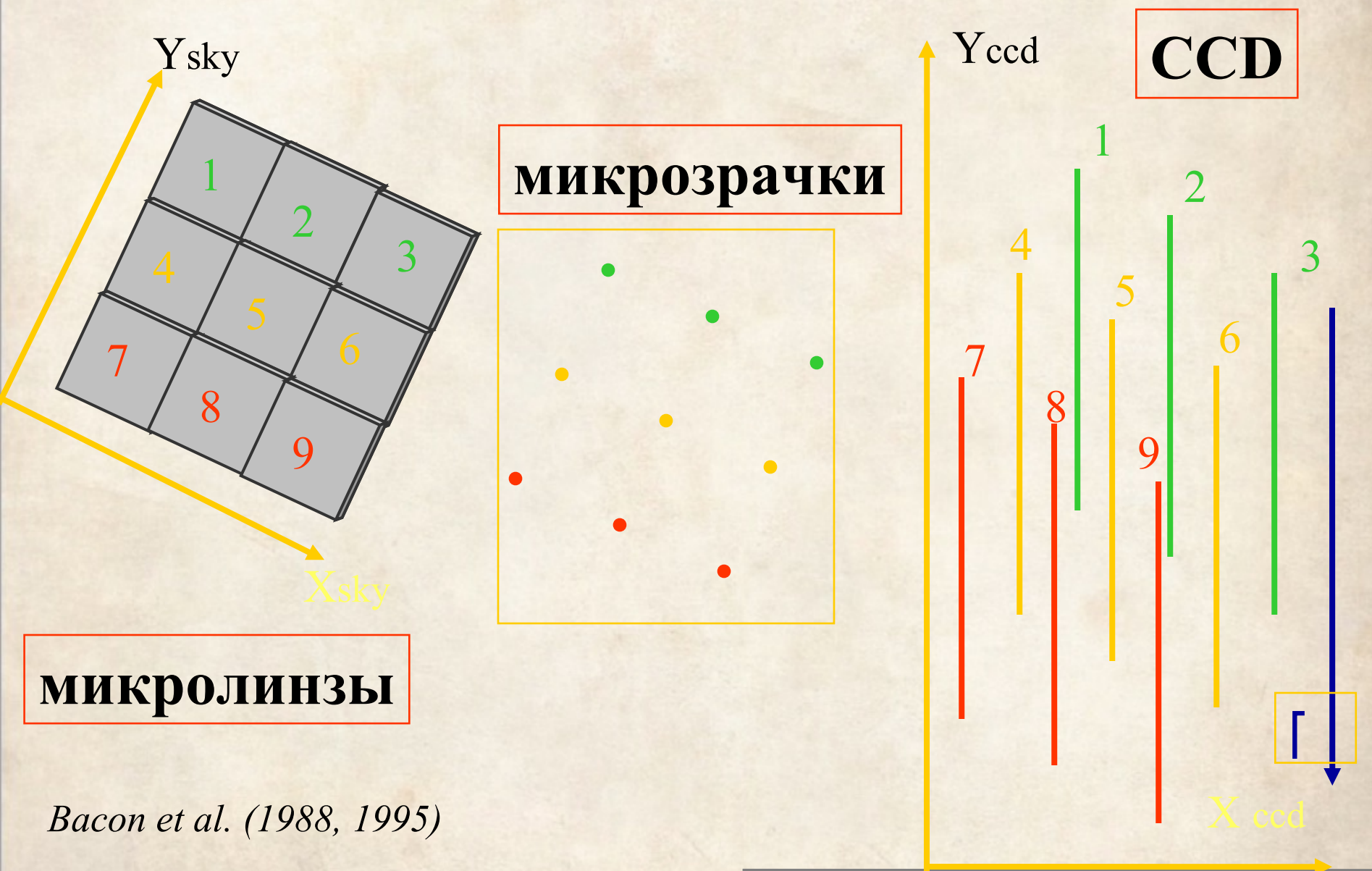


Figure 3. Integral Field Spectrograph (IFS) showing the application in which all image elements are transmitted to a spectrograph slit. The components shown are: the field lens in the focal plane of the telescope, the enlarging lens, the secondary field lens, the array of square shaped lenses, and the fibres going from the exit pupil to the slit.

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



Bacon et al. (1988, 1995)

Васон + 1988: первые результаты 3.6m CFHT (всего 4 цитирования в ADS!)

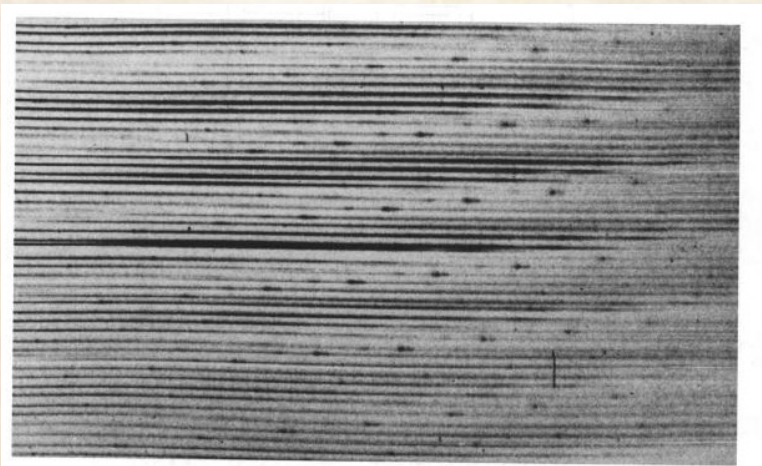


Figure 4 : Raw image in spectrographic mode

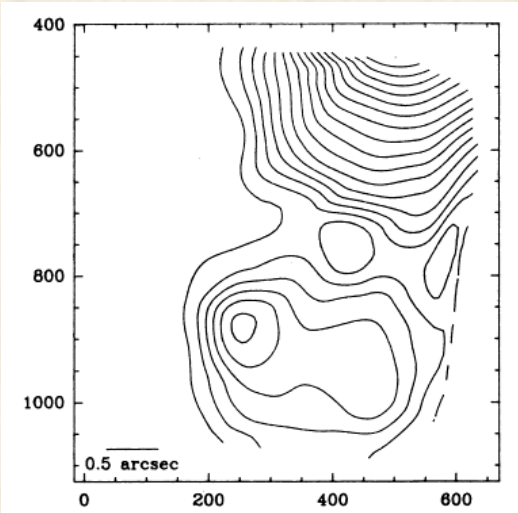


Figure 7 : Monochromatic map in [NII]-Ha of the nuclear region of M 51

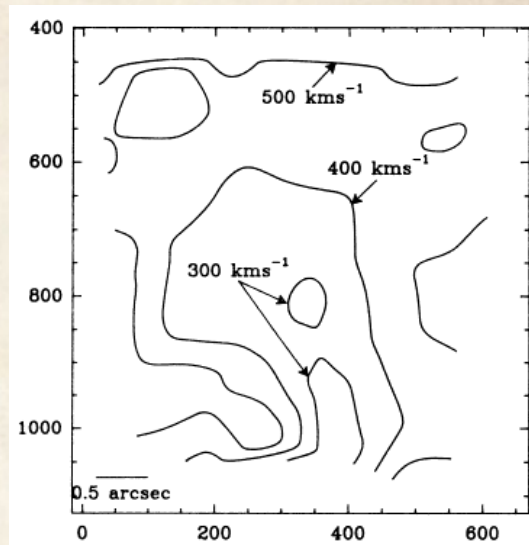


Figure 8 : Velocity field from the line [NII] 6584 A

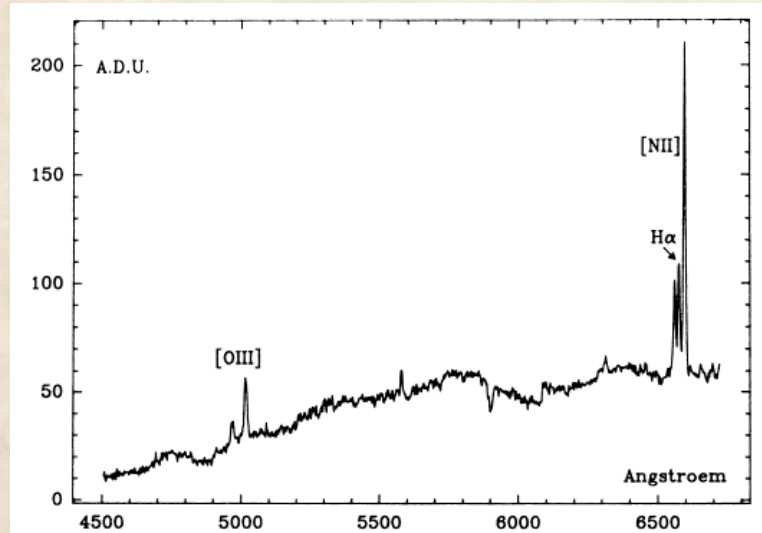


Figure 6 : Spectrum of M 51 with a medium dispersion ($R = 1100$)

CONCLUSION:

TIGER seems to be a good solution to the problem of integral field spectroscopy. It allows the obtention of a high spatial resolution in a wide spectral range, and can be adapted easily to any telescope. Moreover, as the micro-lenses can have a square section, a perfect covering of the field can be achieved without any light loss between the elements of the spatial sampling.

The simplicity of the mechanical and electronical design should make TIGER a reliable instrument; this, combined with a very high time-efficiency, gives an instrument well suited for large telescopes and VLT's, where trouble-free operation and ultimate performance must be combined.

Bacon Roland: "From TIGER to WST" (2024)



Figure 3: TIGER first light at CFHT in June 1987. From left to right: Georges Courtès, Roland Bacon, Guy Monnet and Yvon Georgelin.

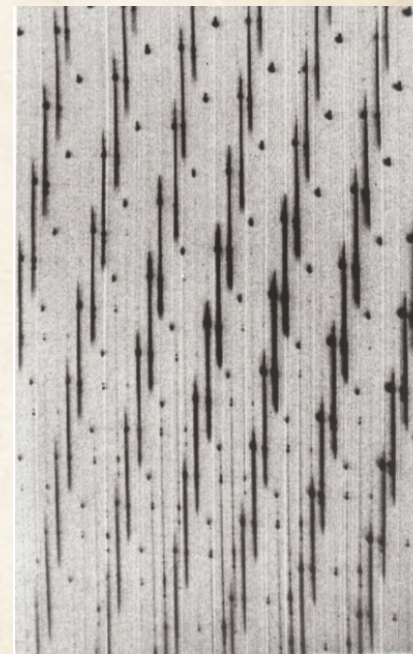
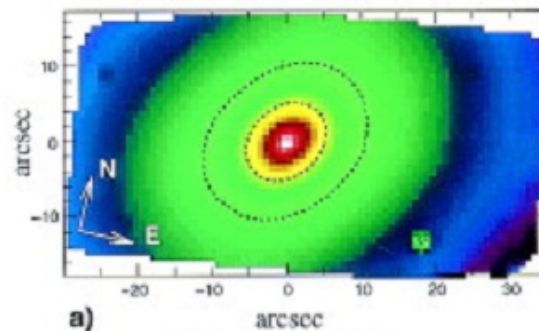
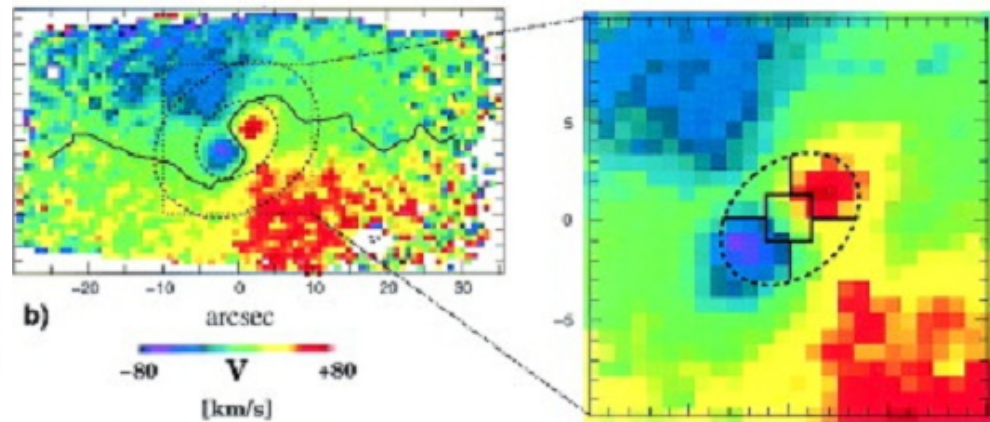
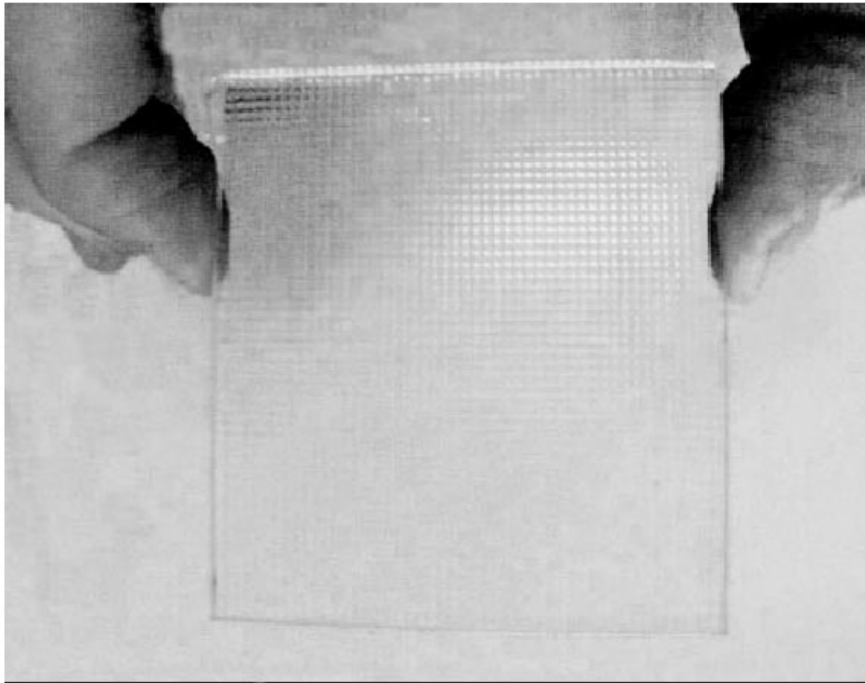


Figure 4: This raw image of the nucleus of M51 was the first science exposure obtained by TIGER during first light at CFHT in June 1987.

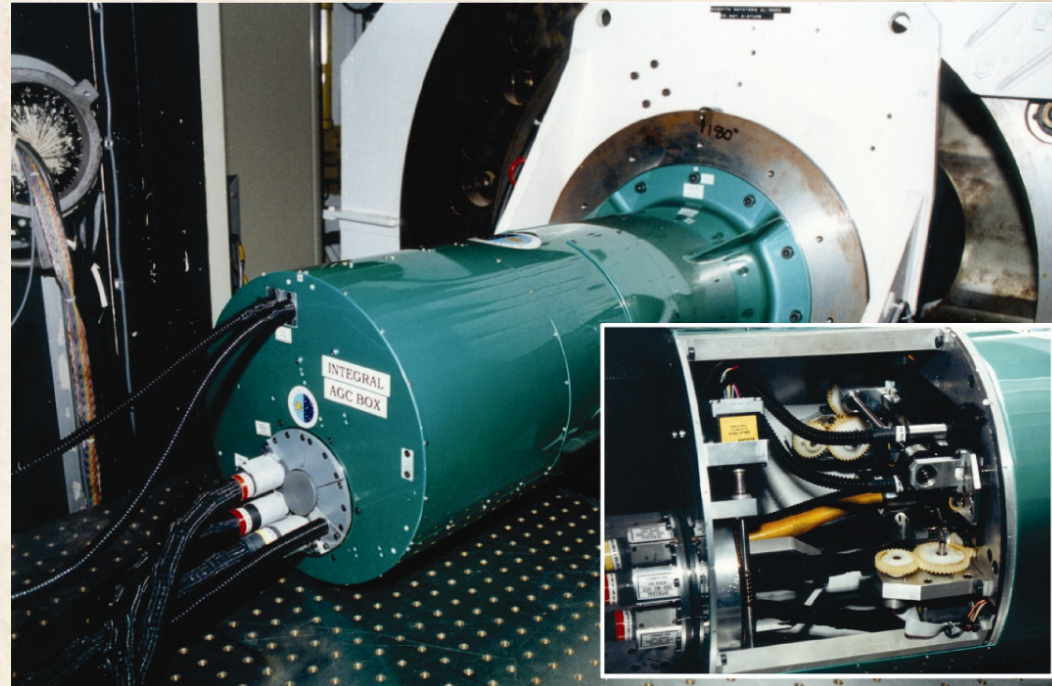
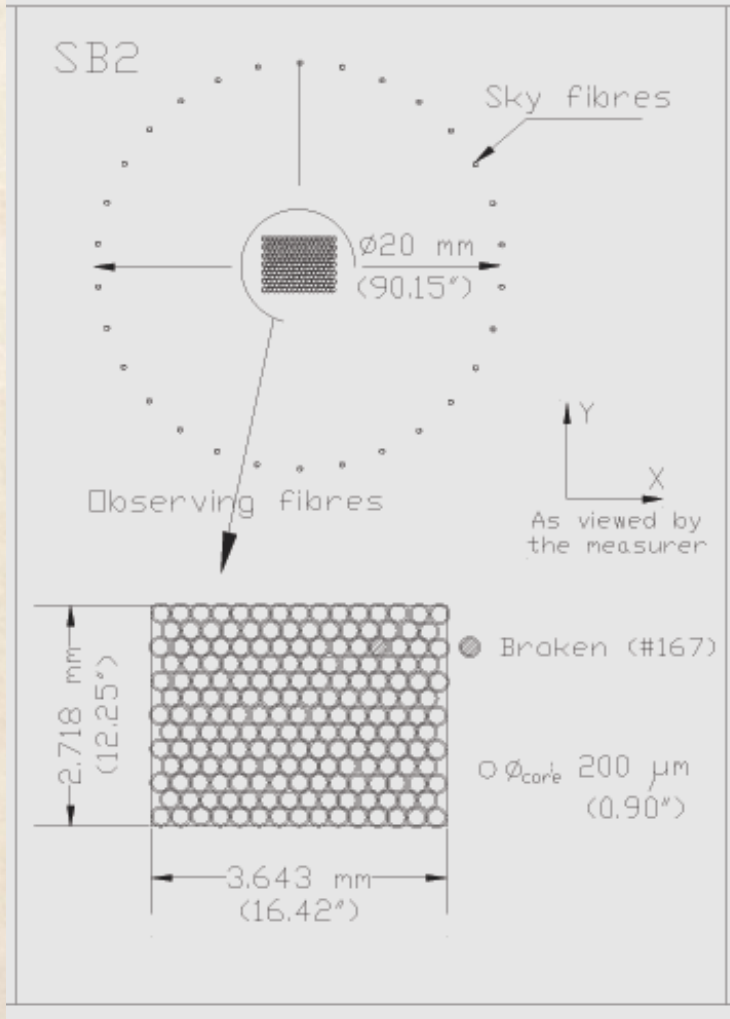
SAURON: Spectroscopic Areal Unit for Research on Optical Nebulae

44x35 квадратных линз



INTEGRAL on WHT

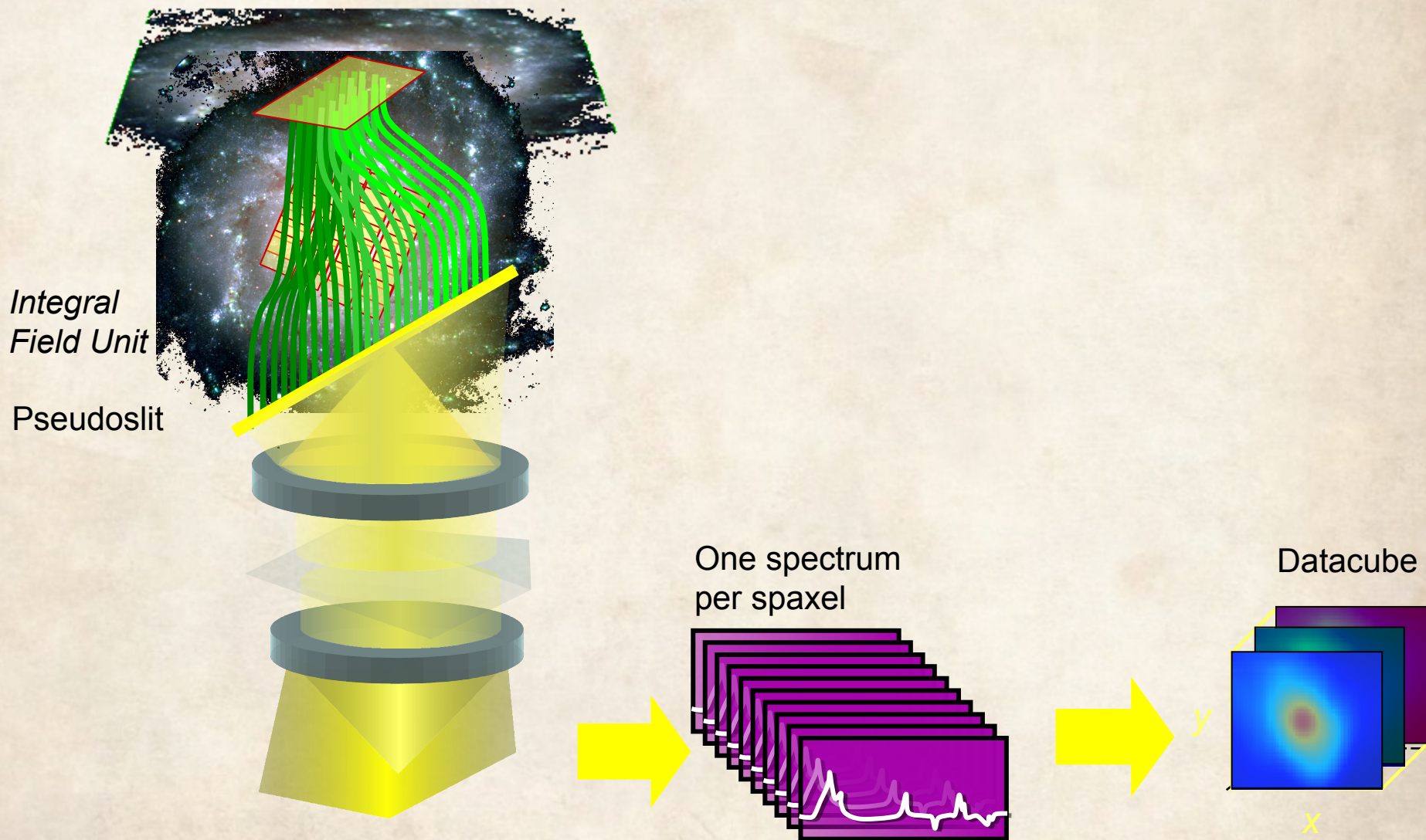
Arribas et al. 1998



3 fiber bundles:

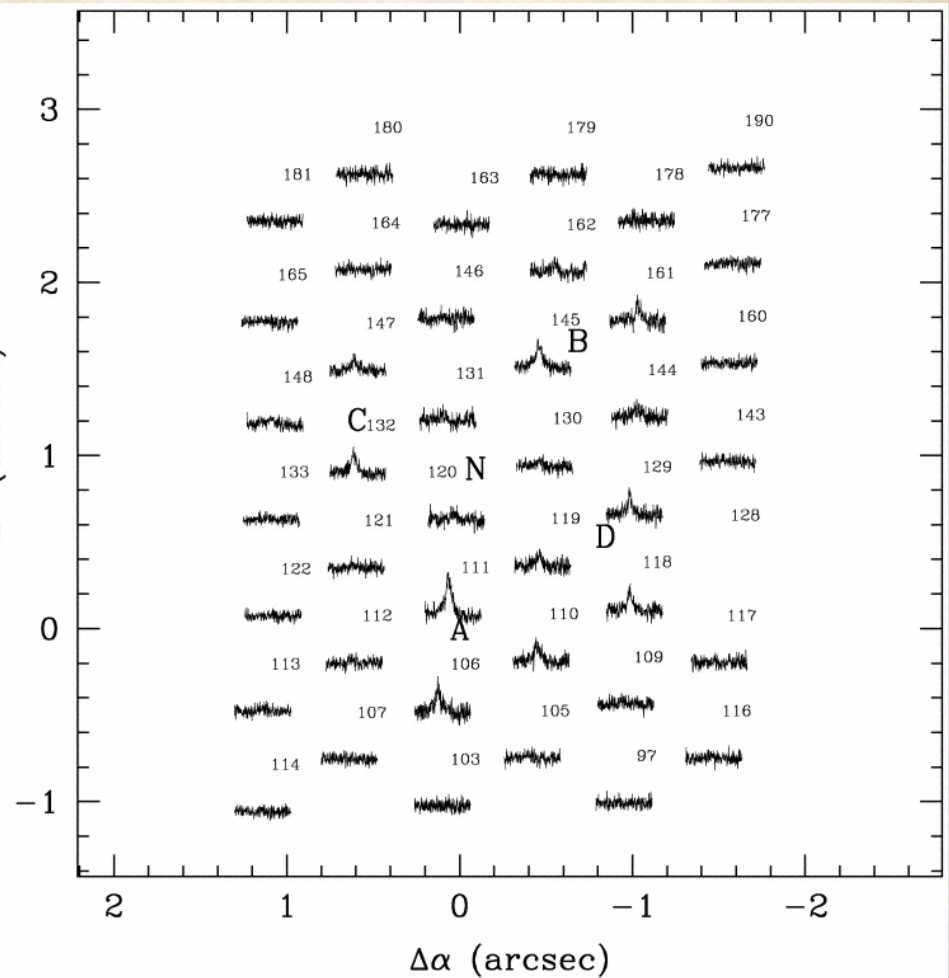
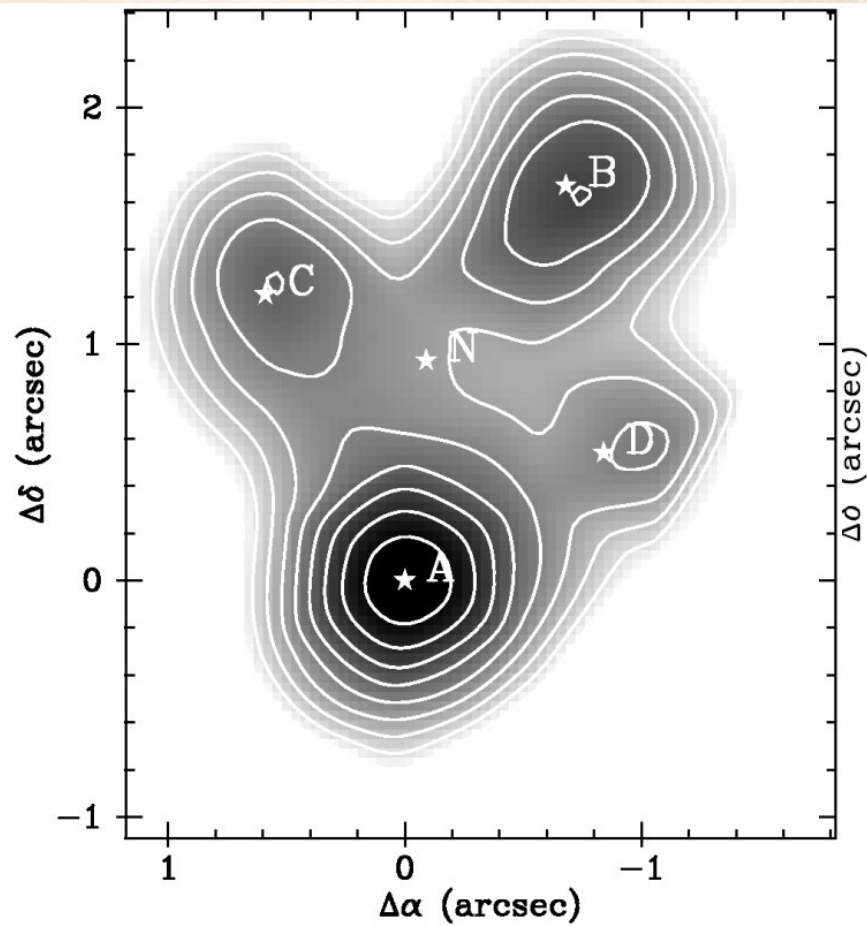
Mode	FoV ("x")	$\varnothing$ (")
SB1	7.80x6.40	0.45
SB2	16.0x12.3	0.90
SB3	33.6x29.4	2.70

Волоконный блок

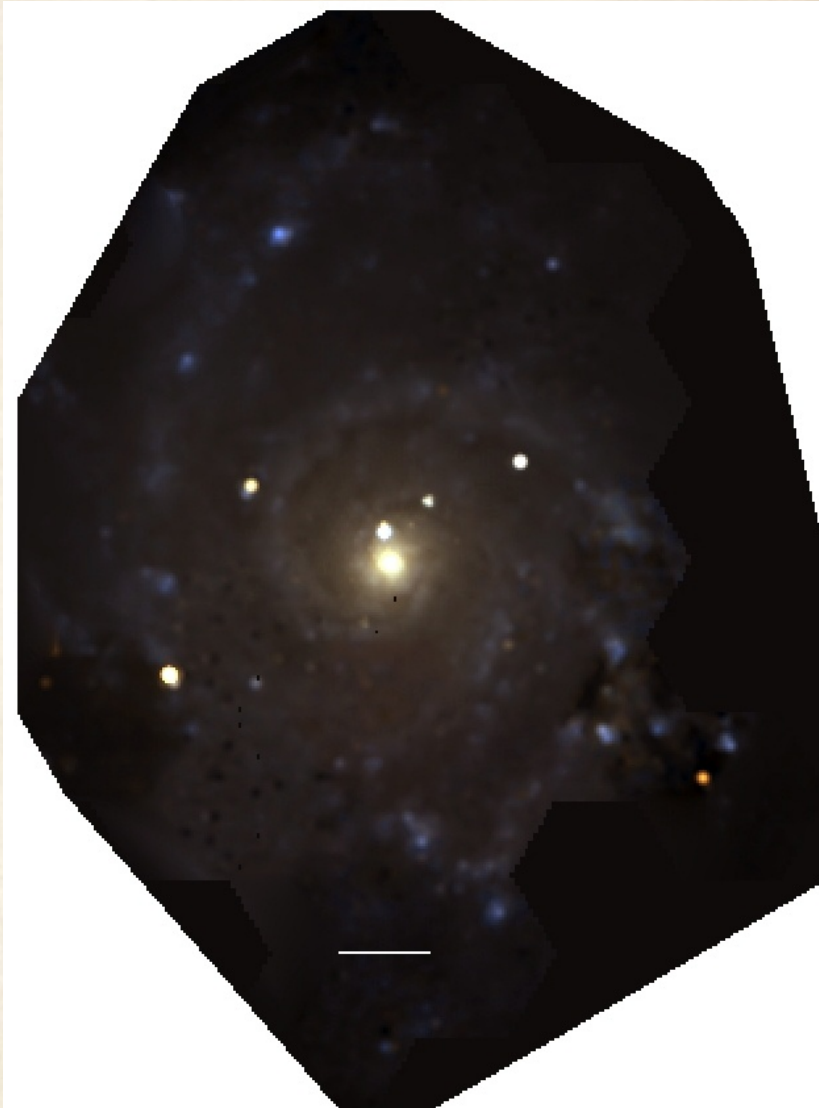
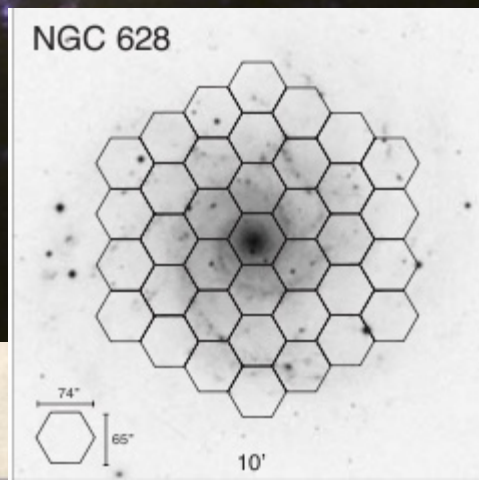
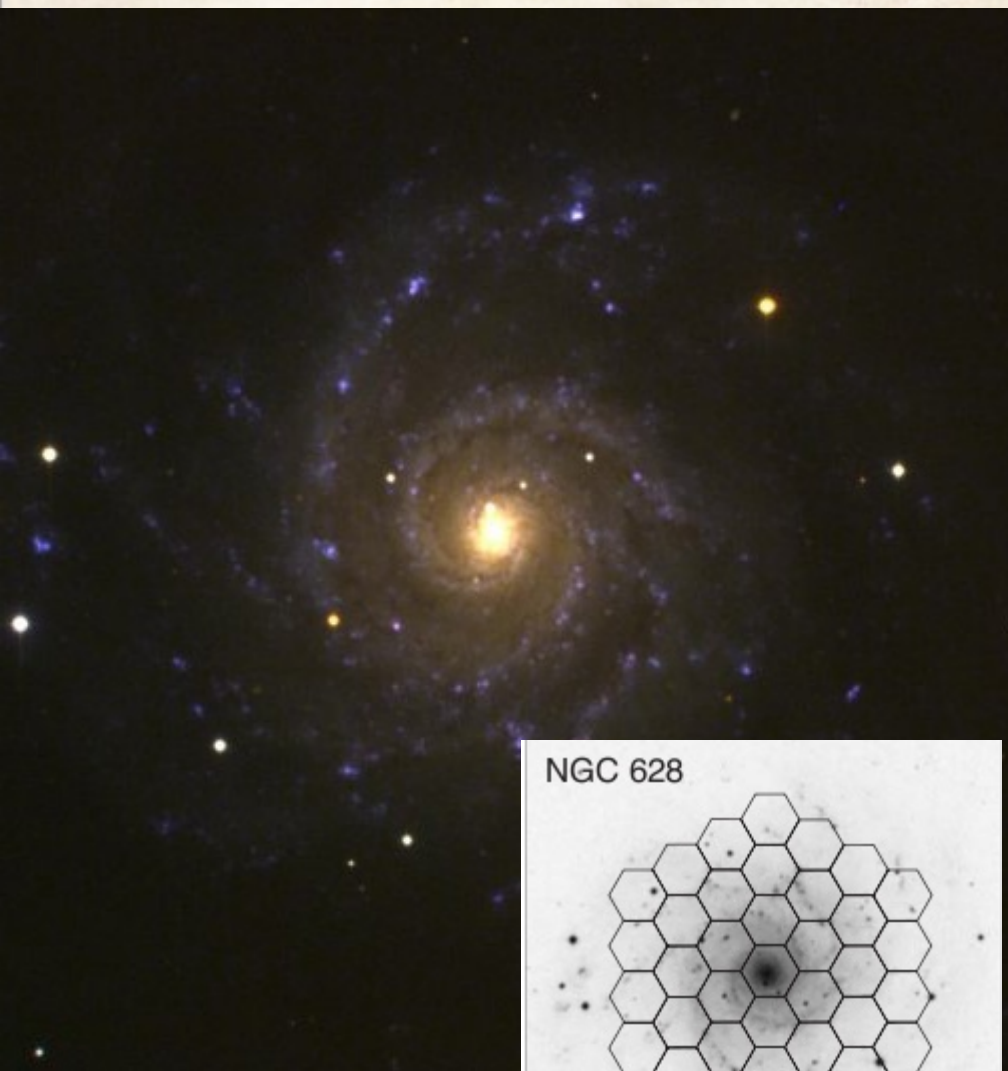


INTEGRAL: Einstein Cross

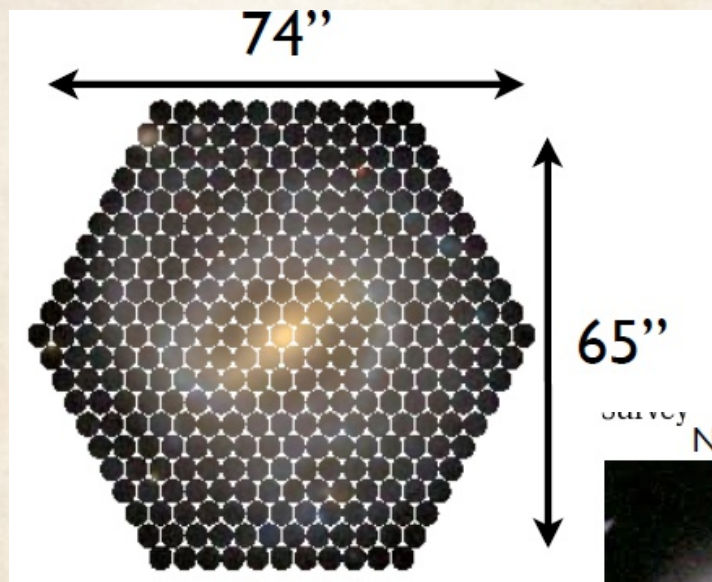
Mediavilla et al. (1998)



РРАК – мозаика спектров в галактике NGC 628



CALIFA

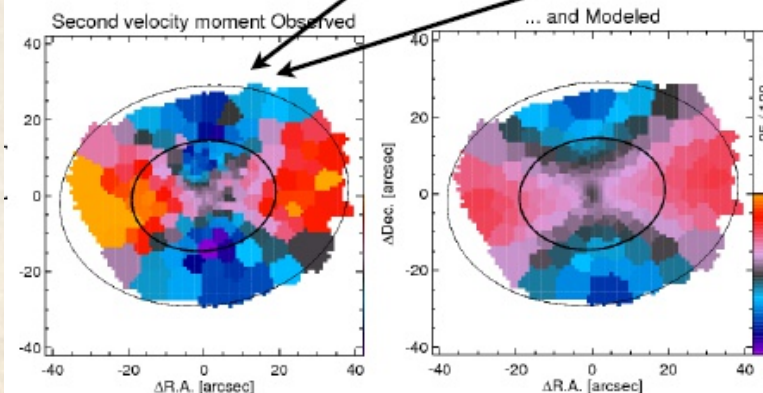
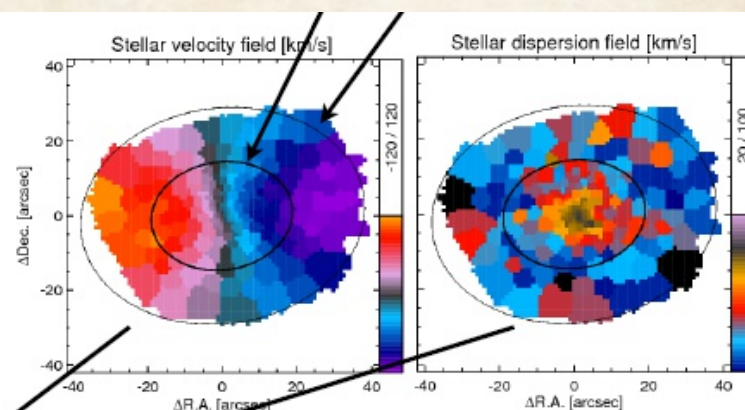


PMAS/PPAK 3.5 m Calar Alto

600 галактик:

- внутренняя динамика
- вклад темного и барионного вещества
- история звездообразования

Survey NGC4210



Jeans &
Schwarzschild
dynamical models
→ $M_{\text{tot}}(<R)$

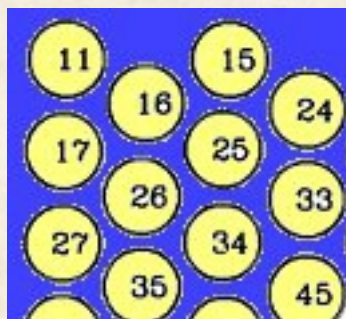
Lyubenova, van de Ven et al., *in prep.*

Multi Pupil Fiber Spectrograph: линзы + волокна

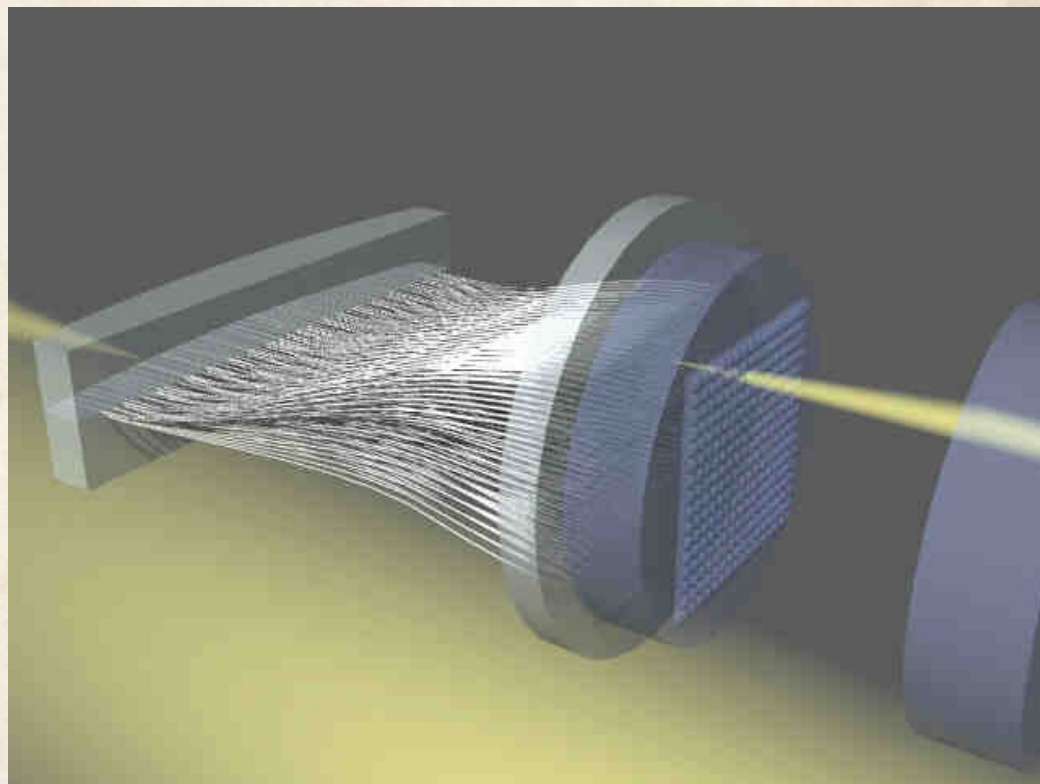
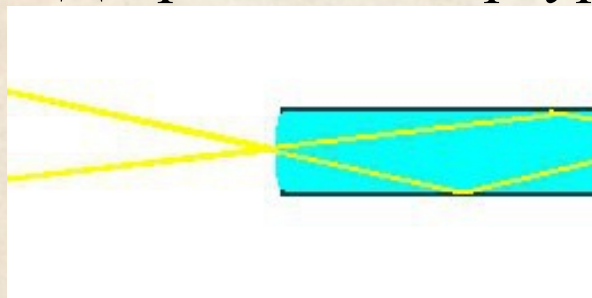
Проблемы пучков световолокон:

Afanasiev et al (1990, 2001)

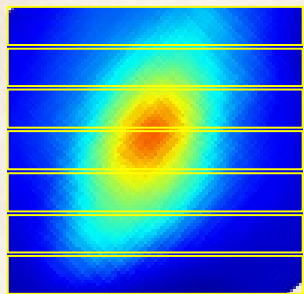
1. Фактор заполнения:



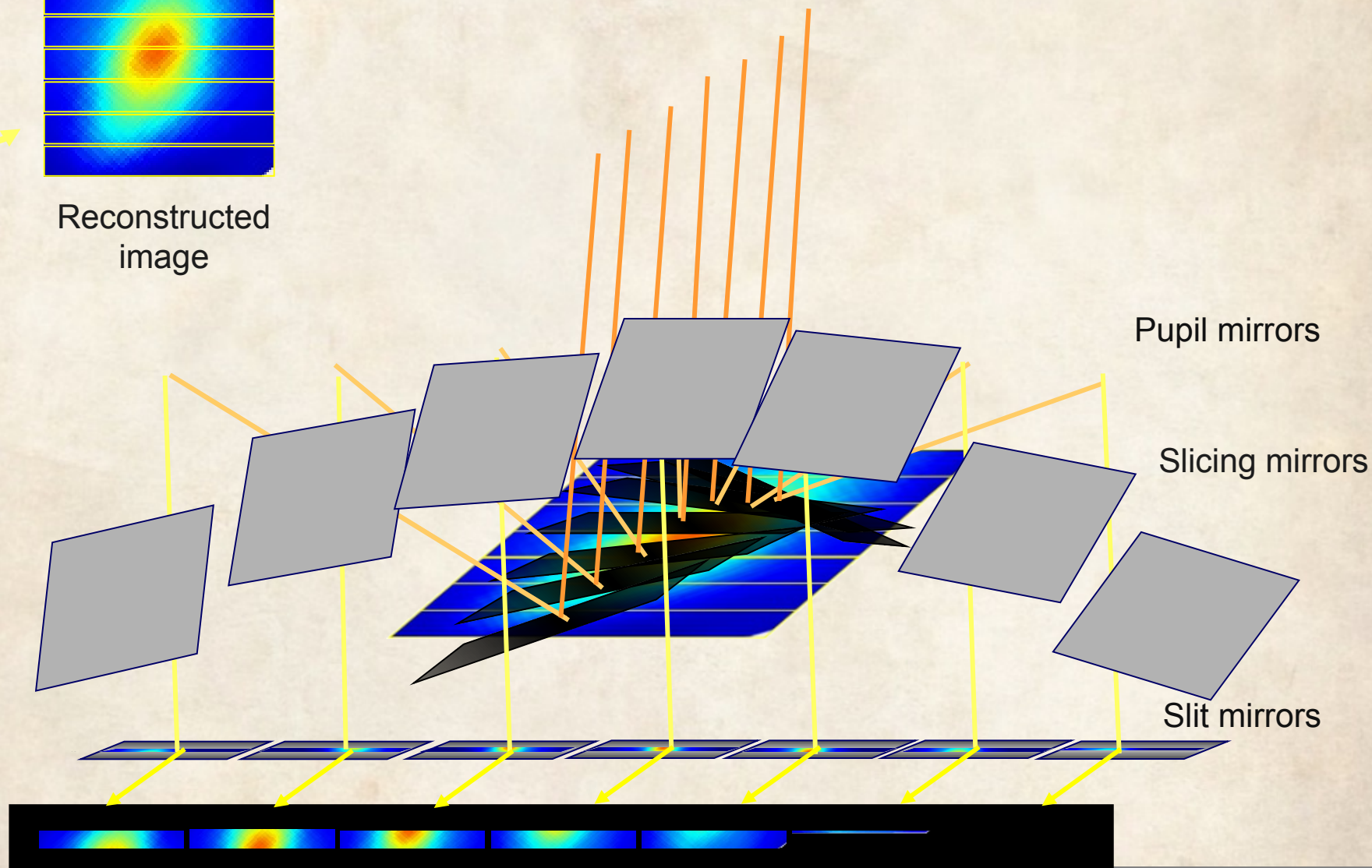
2. Деградация апертуры:



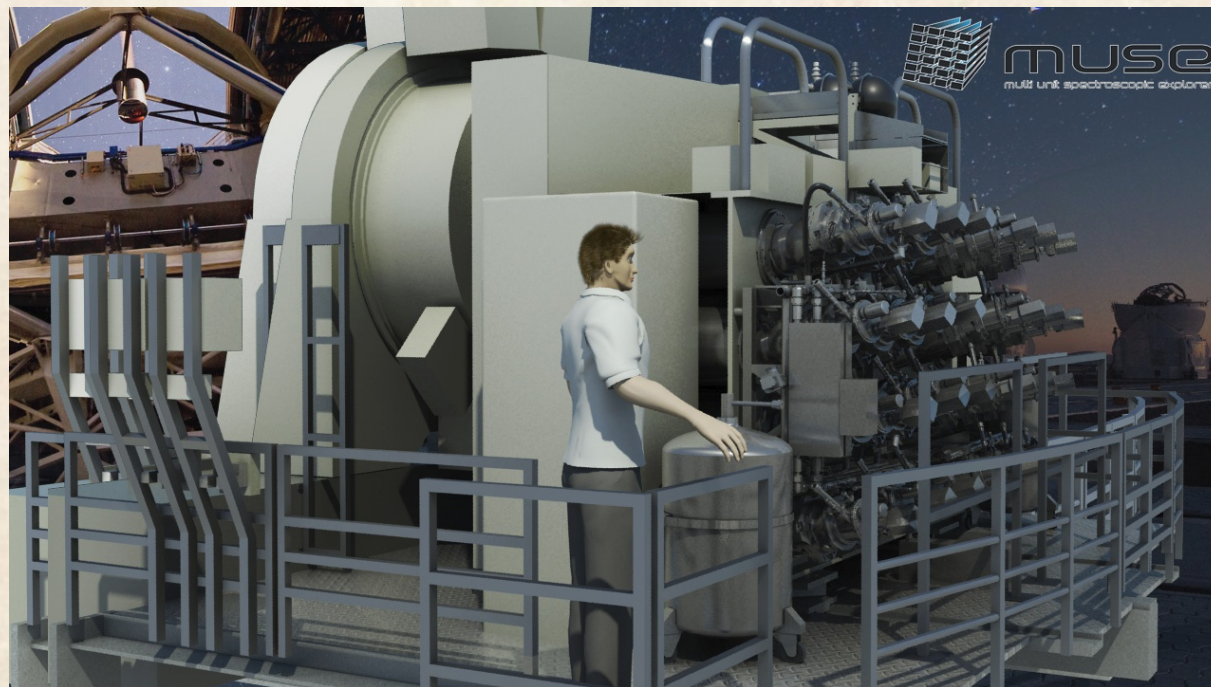
Резатель (slicer)



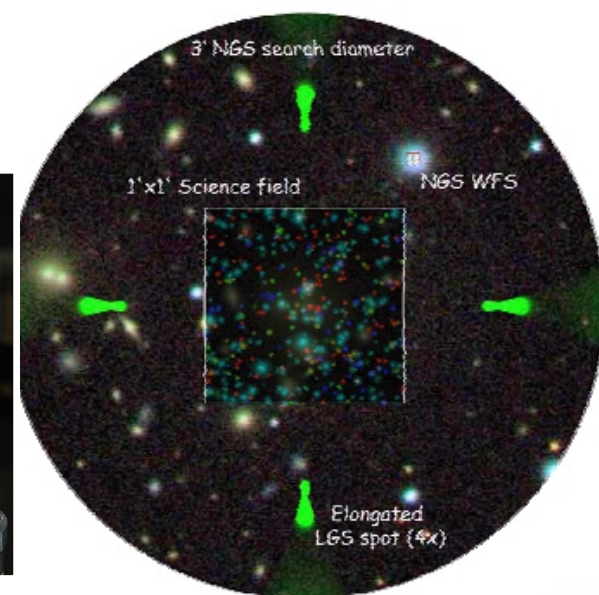
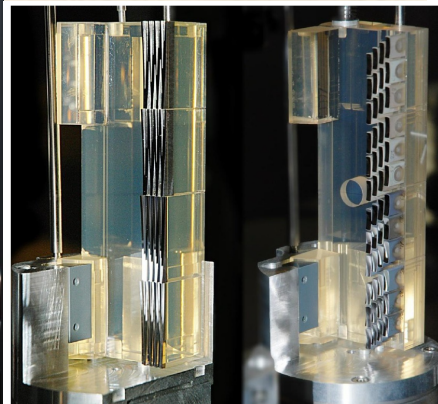
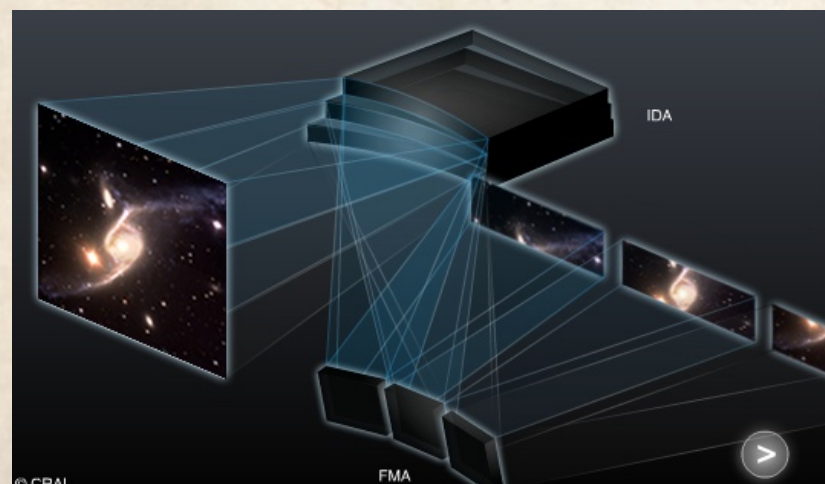
Reconstructed
image



A Multi Unit Spectroscopic Explorer - MUSE



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: Туманность Ориона

6 x 5 arcmin
Weilbacher et al 2015

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

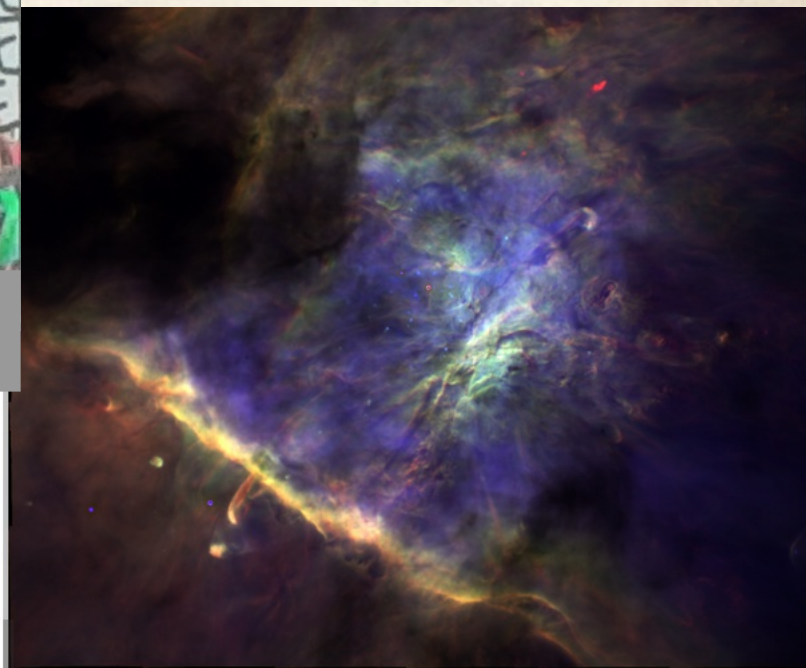
<http://muse-vlt.eu/science/m42/>



	Requested Nights		
	XShooter	MUSE	FORST
P97	221	220	215
P98	255	229	231
P99	188	203	198
P100	287	266	190
P101	201	186	177
P102	274	277	222
P103	260	250	140
P104	200	360	180

Ronald Bacon plenary talk, EWASS-2019

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



Лайман-альфа гало в глубоких полях

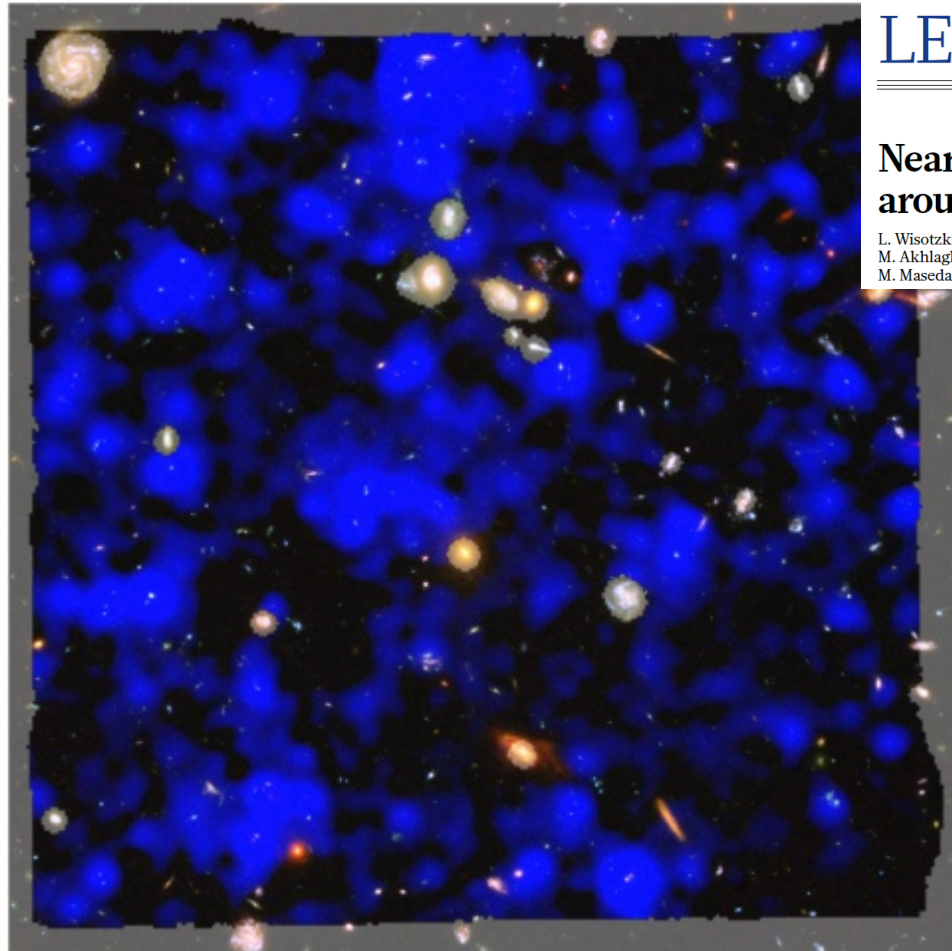


Fig. 1 | Distribution of the observed Ly α emission in the HUDF. The underlying image is a colour composite obtained by the HST¹⁹ restricted to the $1' \times 1'$ section observed with MUSE. The extended Ly α emission detected by MUSE is superimposed in blue, summed over the redshift range $3 < z < 6$ and spatially filtered to suppress the noise. The grey

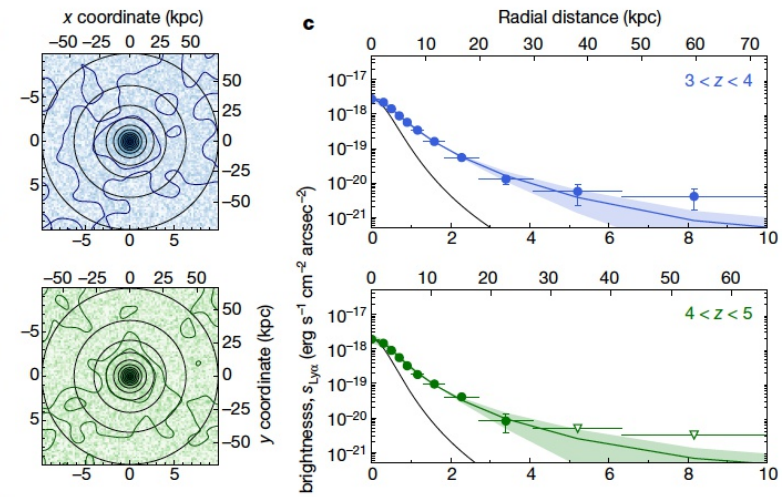
LETTER

Corrected: Author Correction

<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0564-6>

Nearly all the sky is covered by Lyman- α emission around high-redshift galaxies

L. Wisotzki^{1*}, R. Bacon², J. Brinchmann^{3,4}, S. Cantalupo⁵, P. Richter⁶, J. Schaye³, K. B. Schmidt¹, T. Urrutia¹, P. M. Weilbacher¹, M. Akhlaghi², N. Bouché⁷, T. Contini⁷, B. Guiderdoni², E. C. Herenz⁸, H. Inami², J. Kerutt¹, F. Leclercq², R. A. Marino⁵, M. Maseda³, A. Monreal-Ibero^{9,10}, T. Nanayakkara³, J. Richard², R. Saust¹, M. Steinmetz¹ & M. Wendt^{1,6}

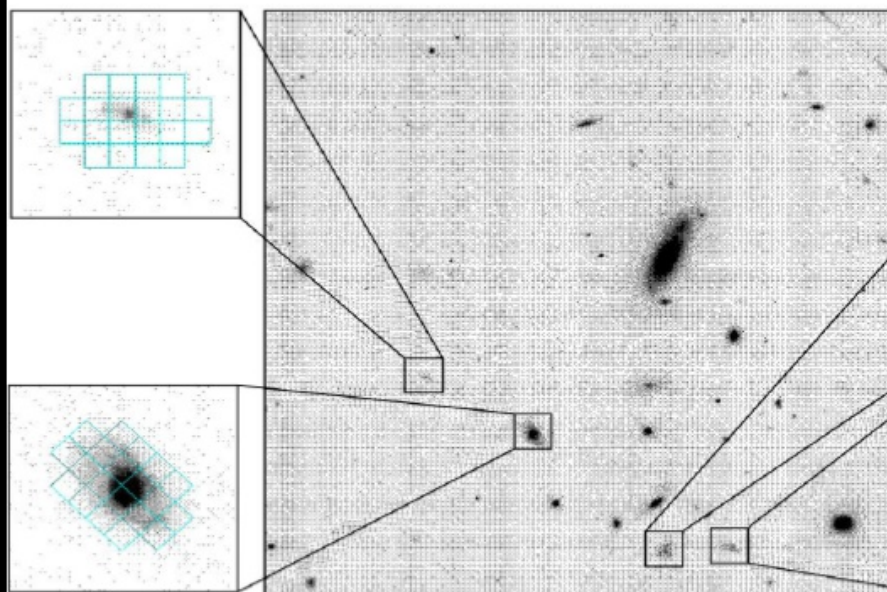
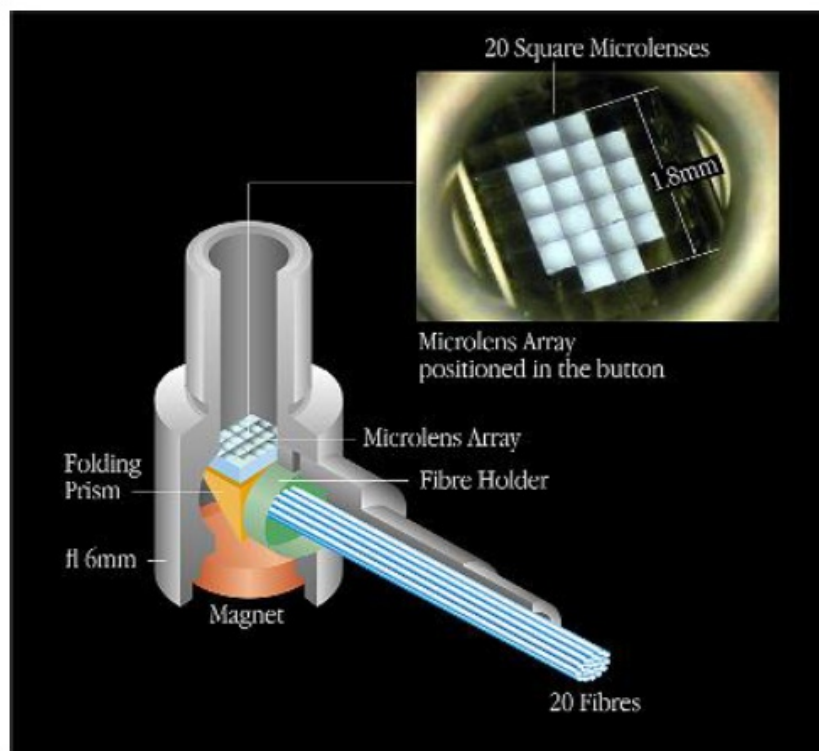


Wisotzki + 2018

Многообъектный панорамный спектрограф

IFU Techniques: Optical Fibres

FLAMES - VLT



KMOS: K-band Multi-Object Spectrograph

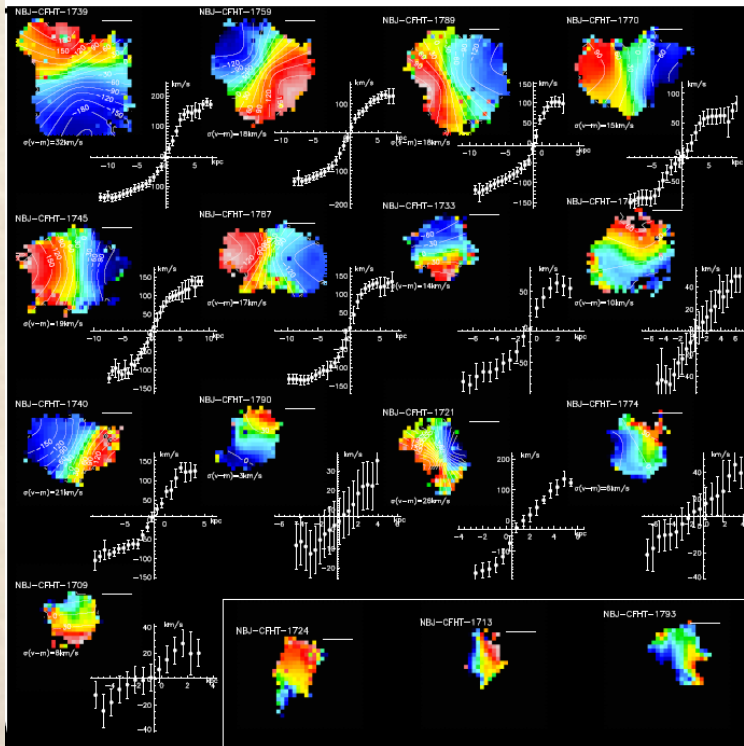
- Instrument capabilities
 - VLT 8m
 - 24 MOS probes, 2.8x2.8 arcsec each, sampled at 0.2 arcsec (14 slices)
 - 4704 spatial elements total (188 arcsec²)
 - 7.2 arcmin diameter patrol field
 - 0.8-2.5 μm range
 - 1000 spectral elements ($R \sim 3600$)
 - $\varepsilon = 0.3 \cdot \text{telescope} \cdot \text{atmosphere}$



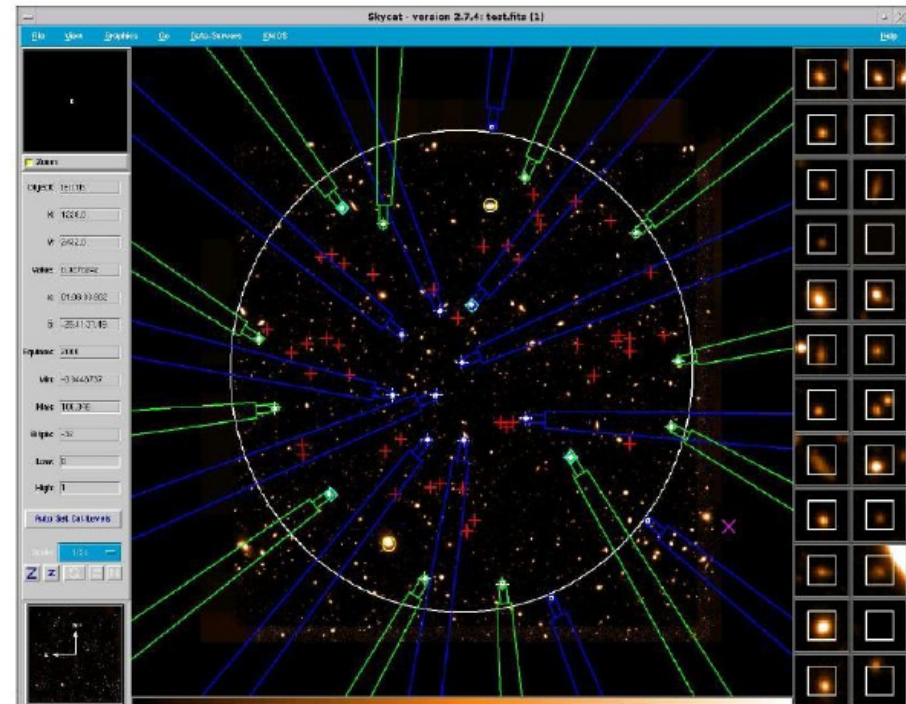
See also e.g., Sharples,
Cirasuolo's talks
+ KMOS session



2 hours of VLT time



KMOS (NIR)

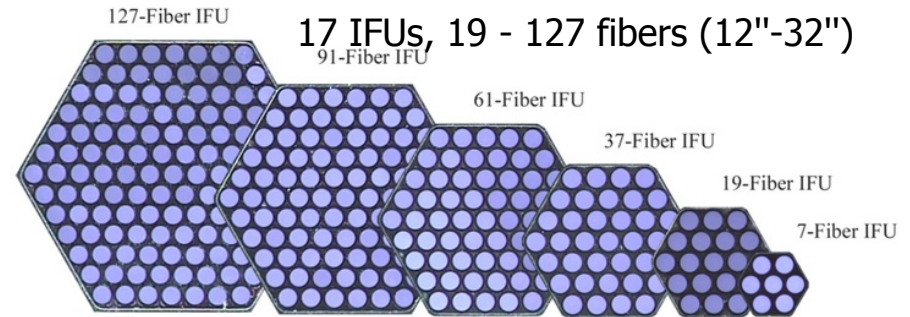
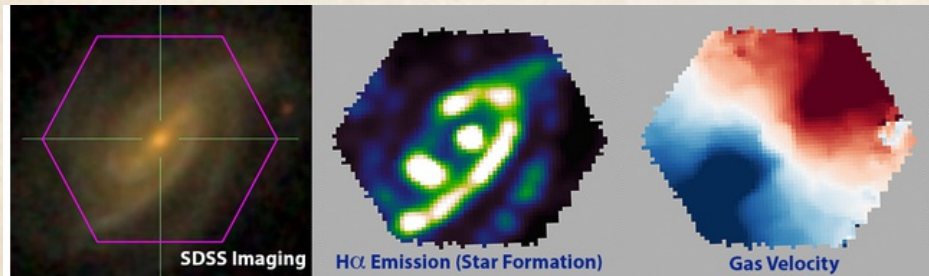
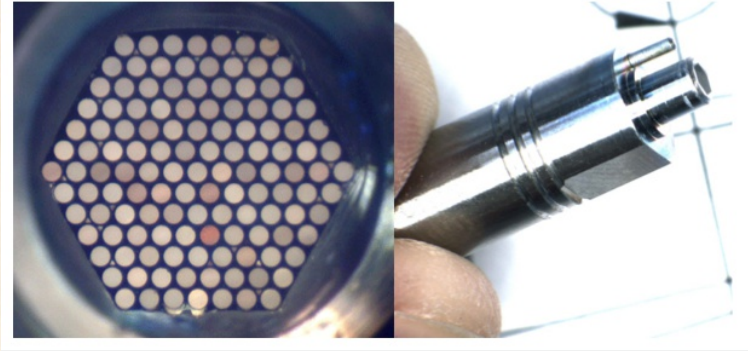


Массовые IFU обзоры на телескопах 2.5-4 м

MaNGA/SDSS-IV, 2014-2020

~10 000 галактик

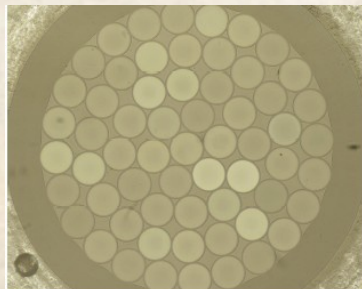
2"/fiber, R~2000 360-1030 nm



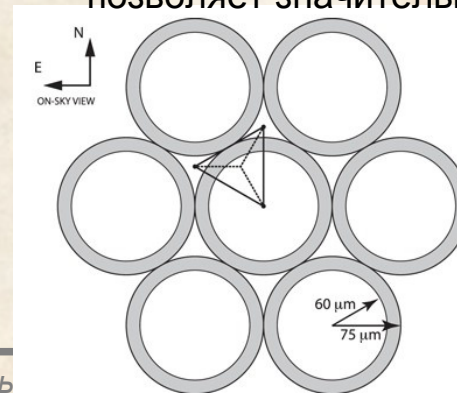
SAMI, AAT: 13 hexabundles (15" FOV@ 1.6 arcsec)

~3500 галактик

HECTOR(2023-29): 15 000 галактик, R~4000

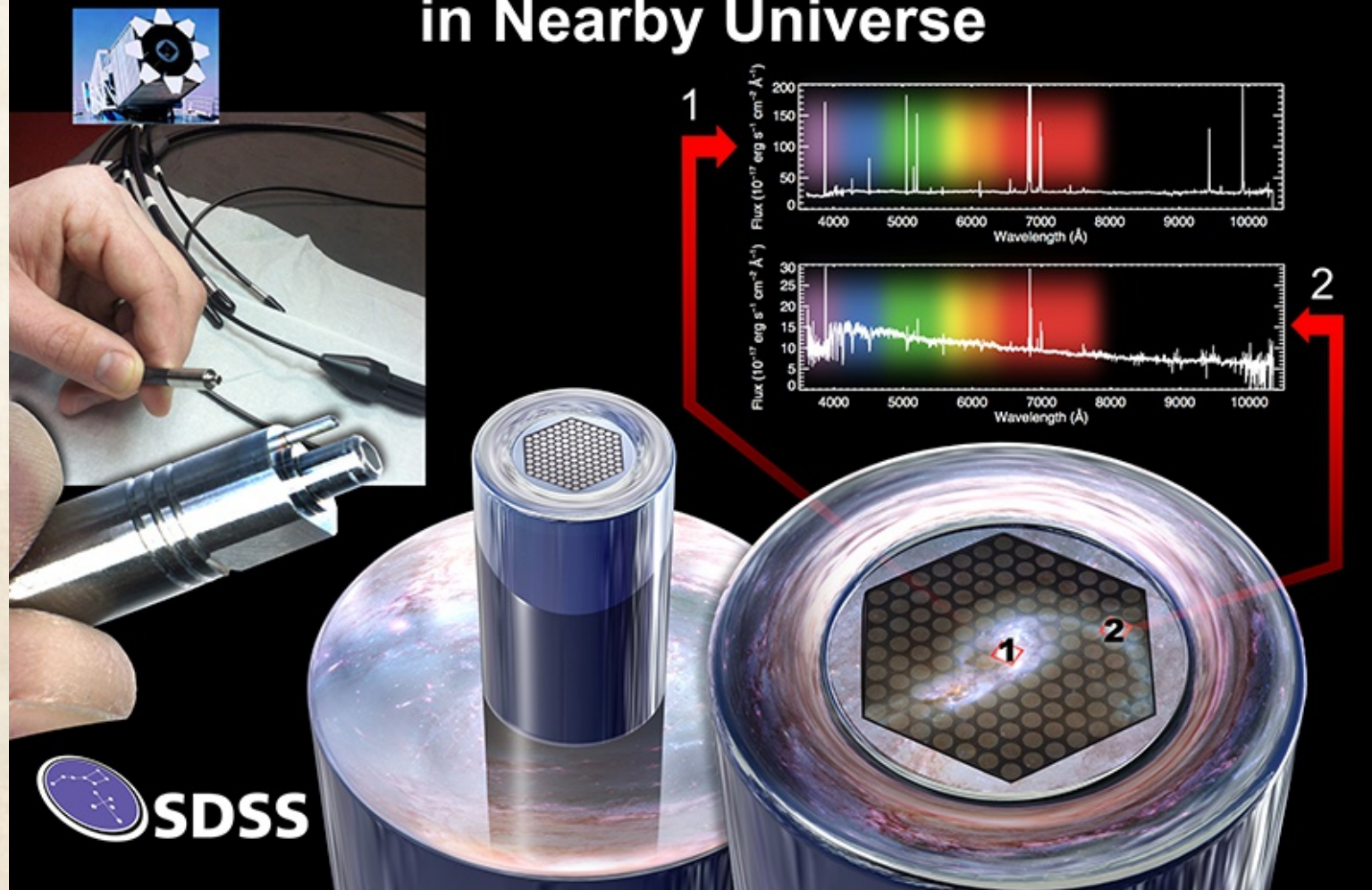


Наблюдения в трех положениях при гексагональной упаковке волокон позволяет значительно улучшить PSF

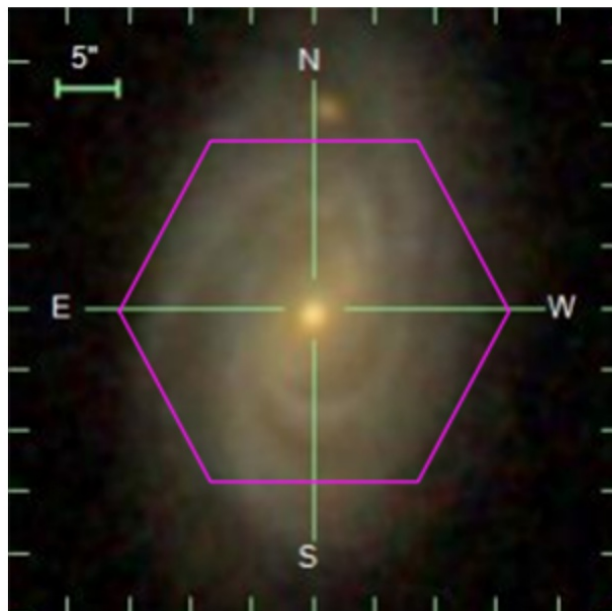


SDSS MaNGA: Mapping Nearby Galaxies at APO

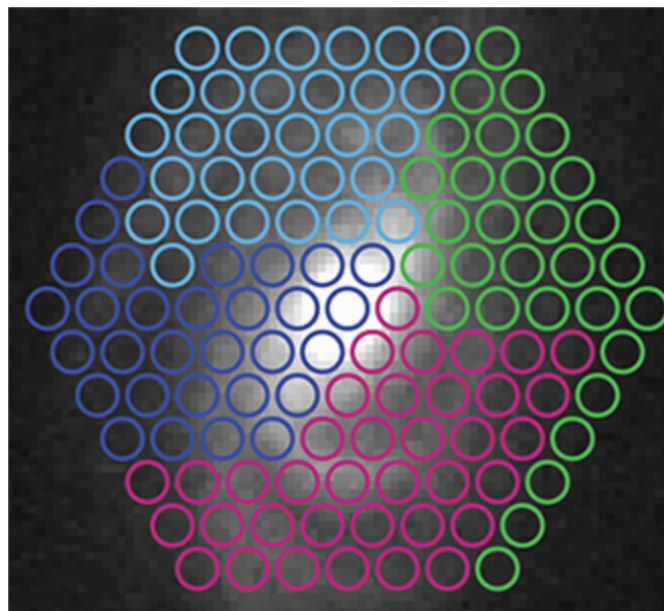
SDSS-IV Dissects 10,000 Galaxies in Nearby Universe



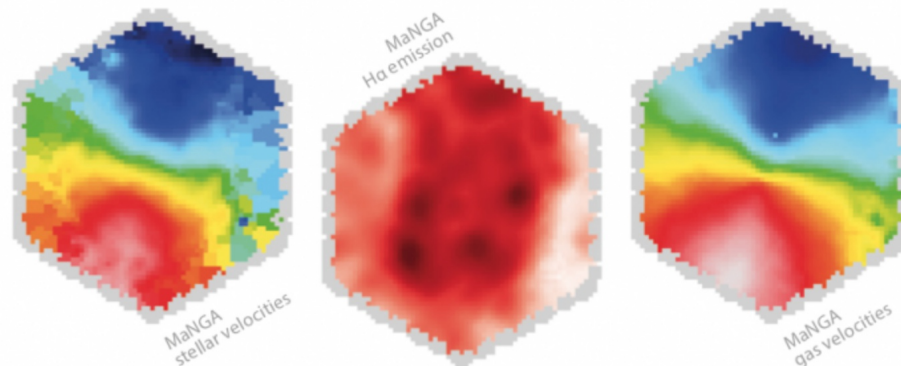
SDSS MaNGA: Mapping Nearby Galaxies at APO



A face-on spiral galaxy seen by MaNGA – the red hexagon shows the coverage of the MaNGA IFU instrument



The same spiral galaxy, now showing circles for the

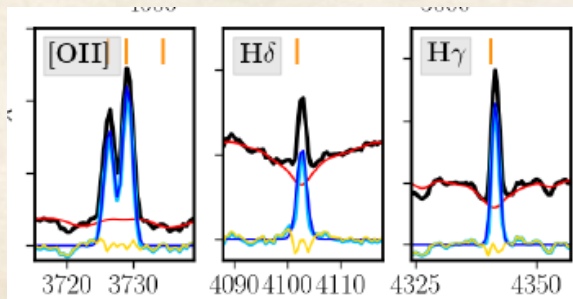


~10 000
близких галактик
(данные должны быть открыты
к концу этого года)

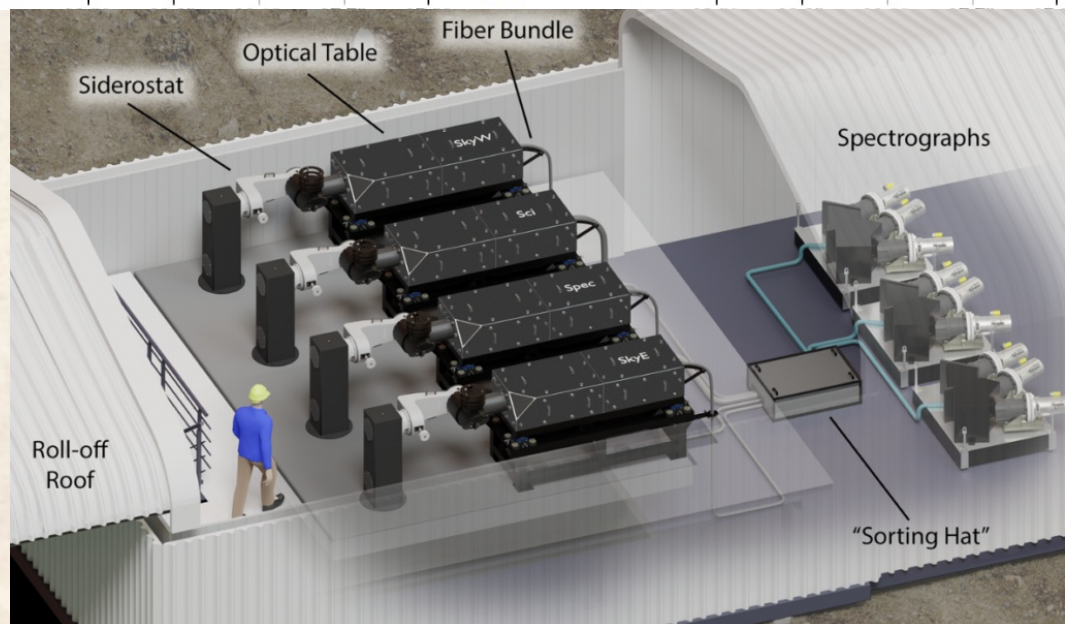
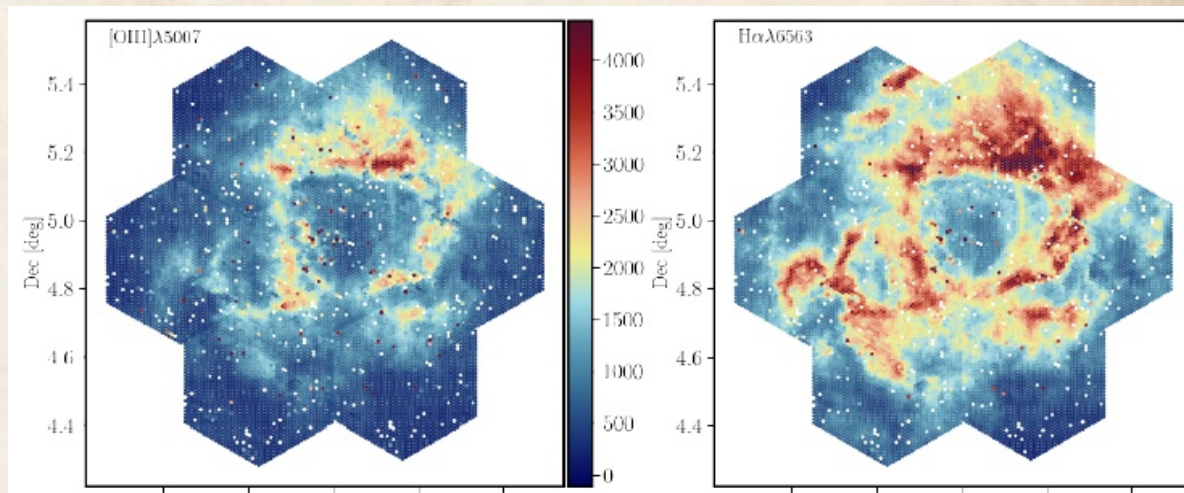
Новейшее время

Тенденция к увеличению поля зрения и R, не обязательно на большие телескопах.
Технология – жгут световолокон

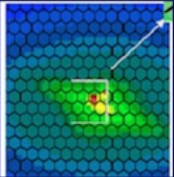
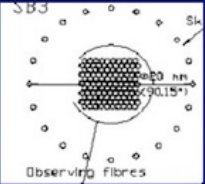
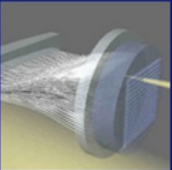
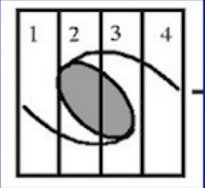
LVM/SDSS-V: 360-1000 nm,
R~4000 (DESI spectrographs)
30'@35"/fiber, 4xD16 cm(!)
+10% ночного неба



Китай: проект AMASE
R=15 000,
4600-5100 Å/ 6250-6850 Å



Зачем так много всего? Решение разных задач

	Спектр. диапазон	Фактор заполнения
линзы 	маленький	Неполный, проблема фона неба
Волокна 	Большой	Потери на входе, Учет фона неба
линзы+ волокна 	Большой	Хорошее заполнение + фон неба
резатель 	Большой	Полное заполнение Проблема фона

Разные варианты
сочетания
спектрального
диапазона,
разрешения и
поля зрения +
вычитание фона
неба

Спасибо за внимание!

Для интересующихся историей 3D спектроскопии:

1982ASSL...92..123C

AN INTEGRAL FIELD SPECTROGRAPH (IFS) FOR LARGE TELESCOPES

G. COURTES

Laboratoire d'Astronomie Spatiale du CNRS, Marseille
et Observatoire de Marseille

ABSTRACT: A combination of an array of small lenses together with fibre optics can be used to produce a high transmission spectrograph which can record the spectra of many image elements simultaneously. Such a design may play an important role in ground based observations preparing for the NASA-ESA Space Telescope programmes.

2024Ap&SS.369..111B

From TIGER to WST: scientific impact of four decades of developments in integral field spectroscopy

Roland Bacon
Centre de Recherche Astrophysique de Lyon

Email: roland.bacon@univ-lyon1.fr

Accepted for publication in Astrophysics and Space Science, 2024 edition of the Astronomy Prize Awardees Collection

Abstract

This paper traces the 37 years of my career dedicated to the development of integral field spectroscopy (IFS), highlighting significant milestones and advancements. This extensive journey encompasses three generations of IFS: the initial prototype TIGER at CFHT, the first generation including OASIS at CFHT and SAURON at WHT, the second generation with MUSE at VLT, and the potential third generation represented by the Wide-field Spectroscopic Telescope (WST) project. Throughout, I discuss the lessons learned at each stage and provide my perspective on the future of IFS.