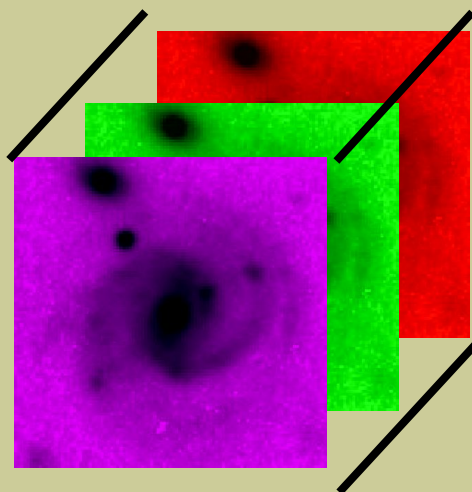
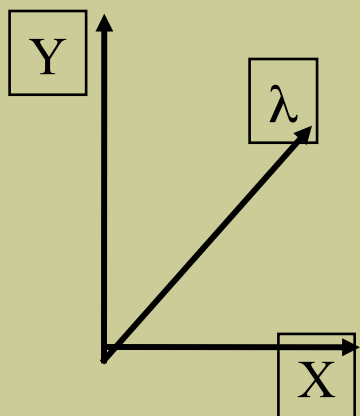


Методы панорамной спектроскопии

Лекция 5.

Сканирующий интерферометр Фабри-Перо. Методы визуализации кубов данных. Перенастраиваемый фильтр. Фурье-спектрографы. Приборы: CIGALE, SCORPIO/IFP, SAM-FP, TTF, MMTF, MaNGaL, SITELLE.

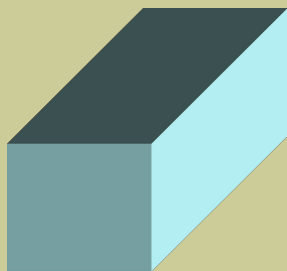
Куб данных



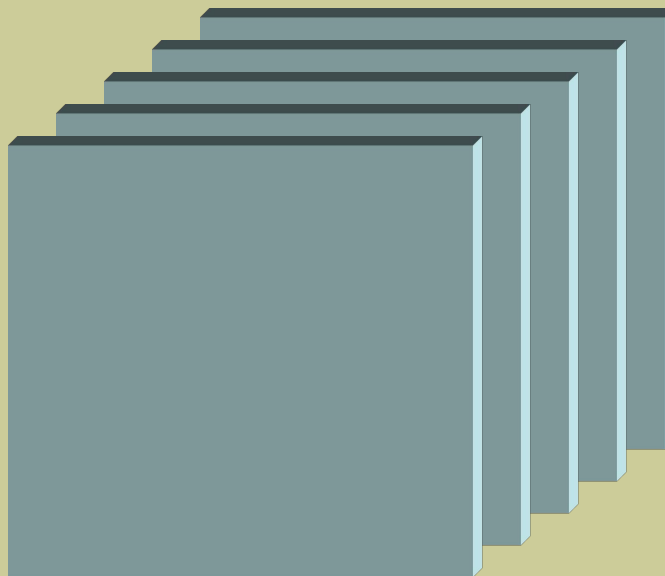
Длинная щель



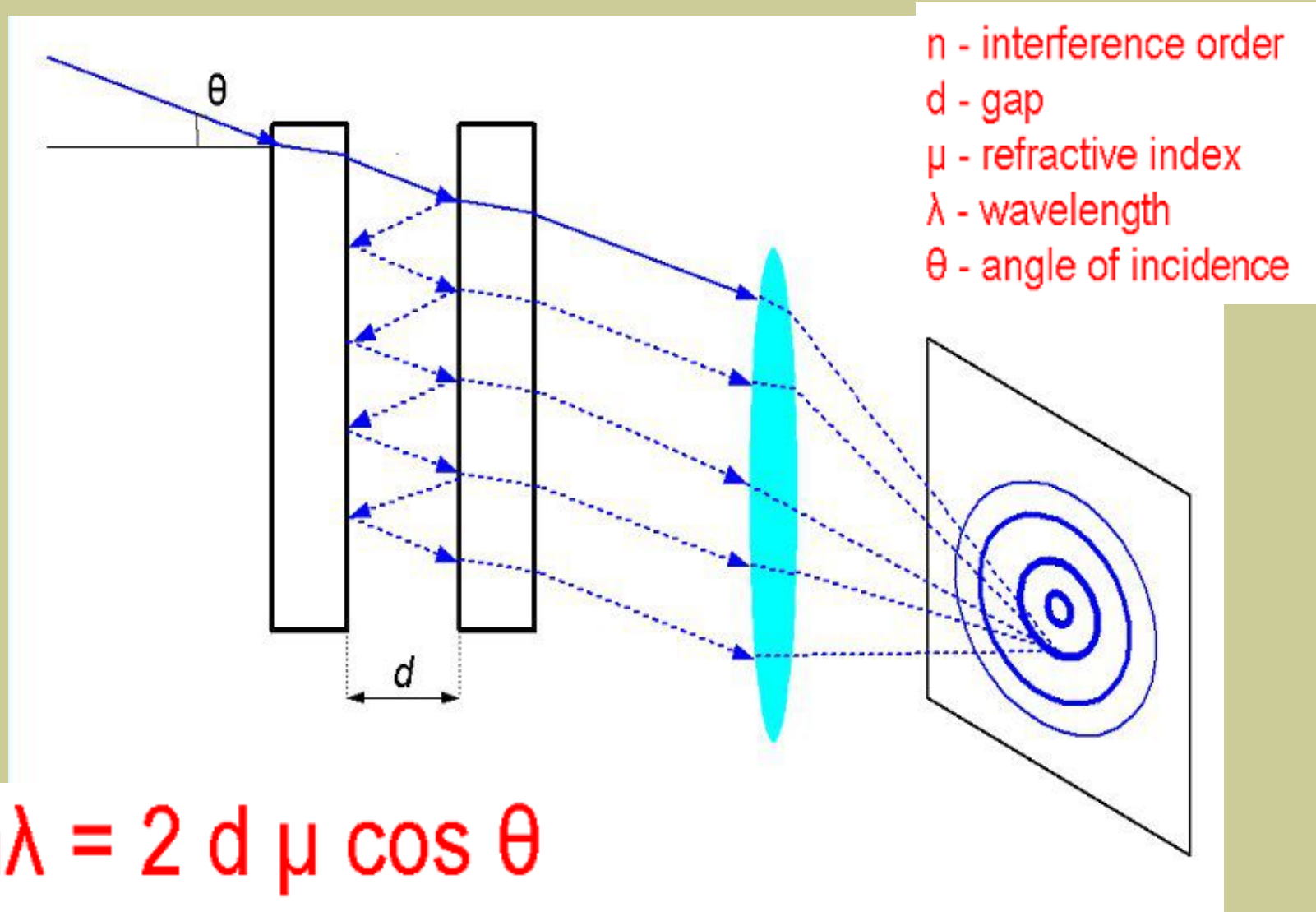
Спектрографы
Интегрального
поля



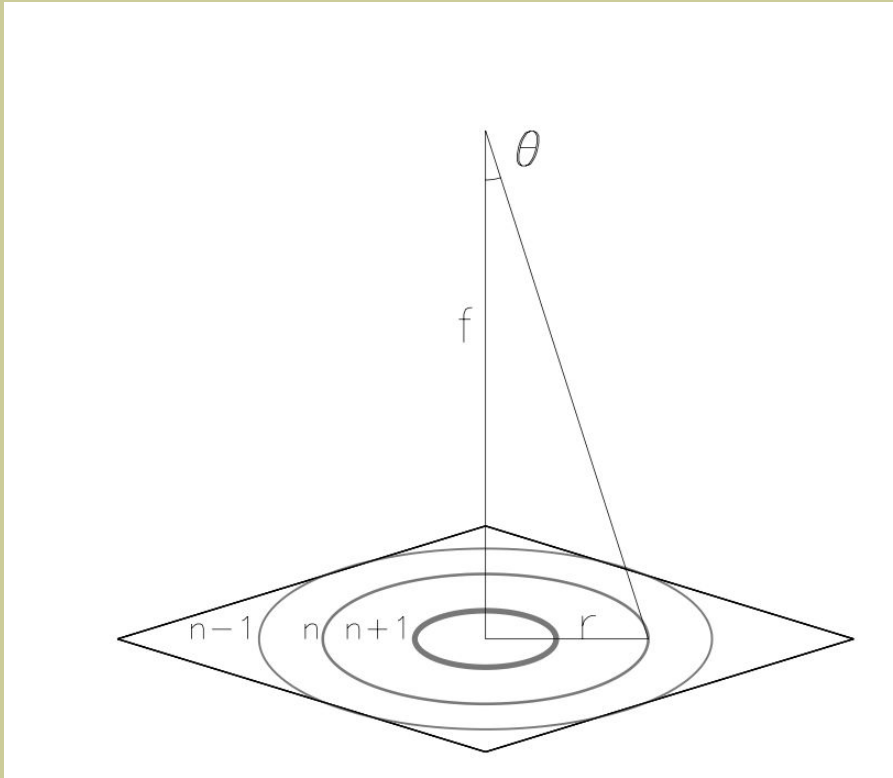
Интерферометр Фабри-Перо



Интерферометр Фабри-Перо



Основные соотношения



$$n\lambda = 2l\mu \cos \vartheta = \frac{2l\mu}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{f}\right)^2}}.$$

$$\frac{d\lambda}{d\vartheta} = -\frac{2l\mu}{n} \sin \vartheta = -\frac{2l\mu}{n} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{r}\right)^2}}$$

При приближении к центру:

- растет длина волны
- увеличивается ширина колец

Легко показать, что угловая дисперсия
Не зависит от порядка интерференции:

$$\frac{d\lambda}{d\vartheta} = -\lambda \operatorname{tg} \vartheta.$$

На одном кадре смешаны пространственные и спектральные координаты!

Первые наблюдения

Collection Ecole polytechnique



Maurice Paul Auguste Charles Fabry (1867-1945)
X1885

Collection Ecole polytechnique

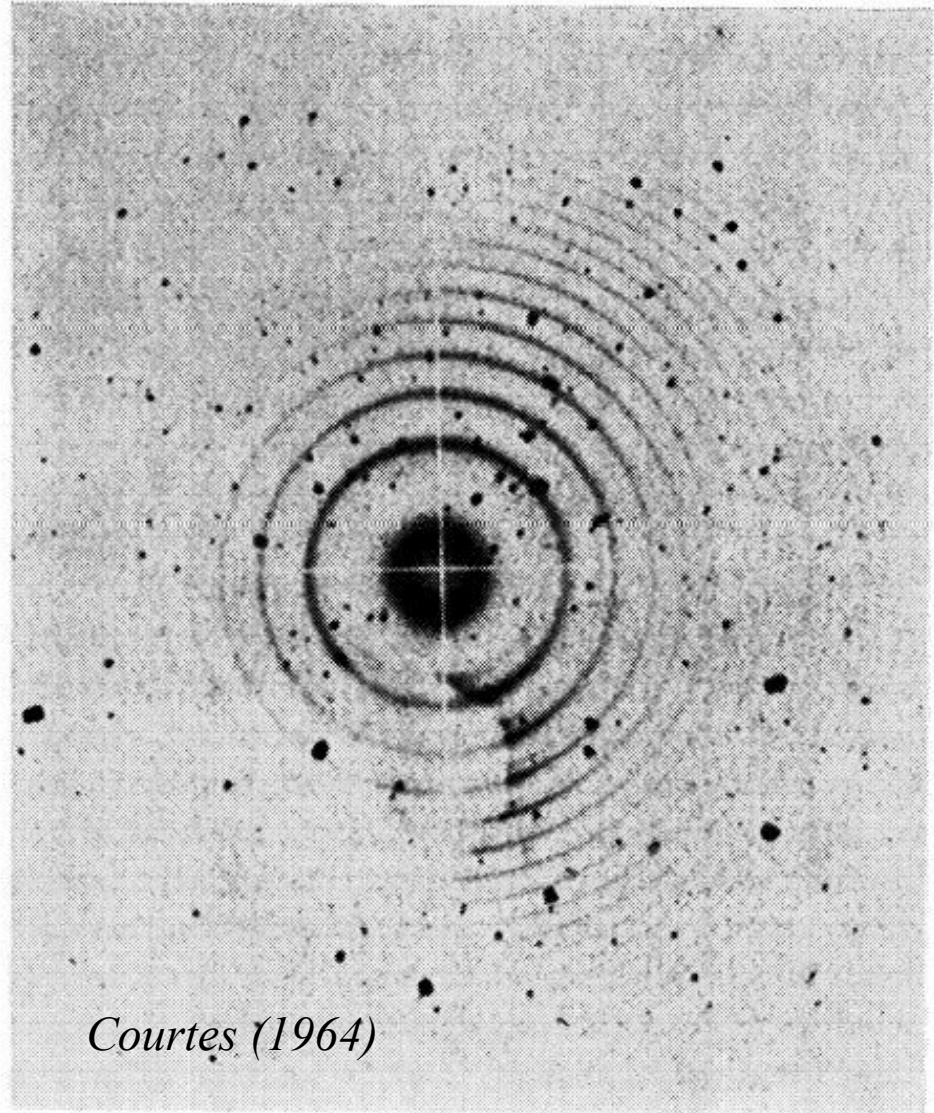


Jean-Baptiste Alfred Perot (1863-1925) X1882



λ_{3728}

Buisson, Fabry, & Bourget (1914).



Courtes (1964)

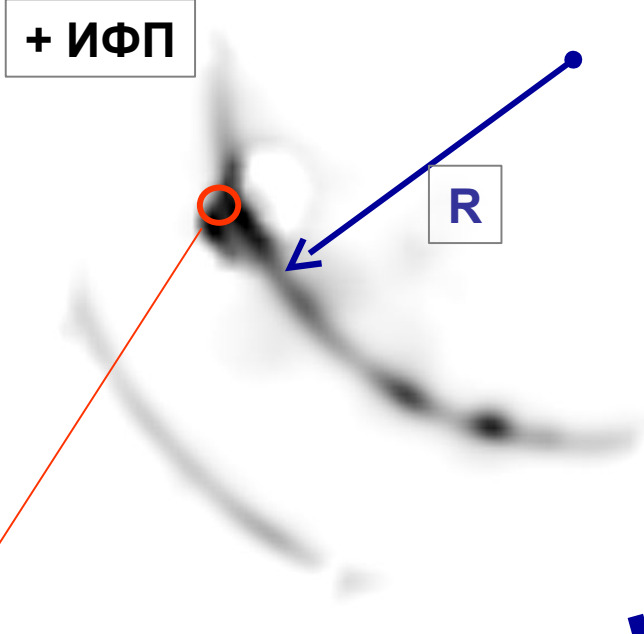
FIG. 12. Perot-Fabry interference rings on the $H II$ regions IC 1393. The brightest rings are given by the H_{α} radiations. The faint ones by $[N II] 6584$. One notices the enhancement of that line along the bright ring of the absorbing cloud. Plate by S. Pottasch.

Одиночная интерферограмма

Изображение в
эмиссионной линии

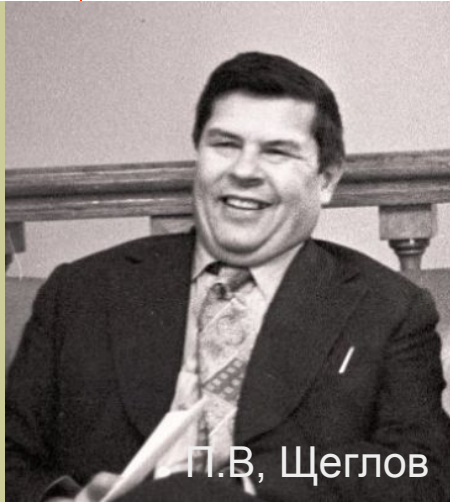


Кинематически
выделенная область



$R \rightarrow \lambda \rightarrow$ скорость

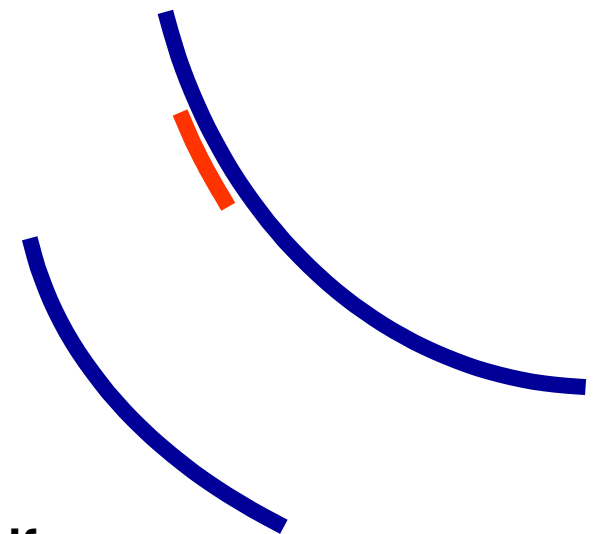
Courtes 1960
Щеглов (1963)
Лозинская (1969-1973)



П.В. Щеглов

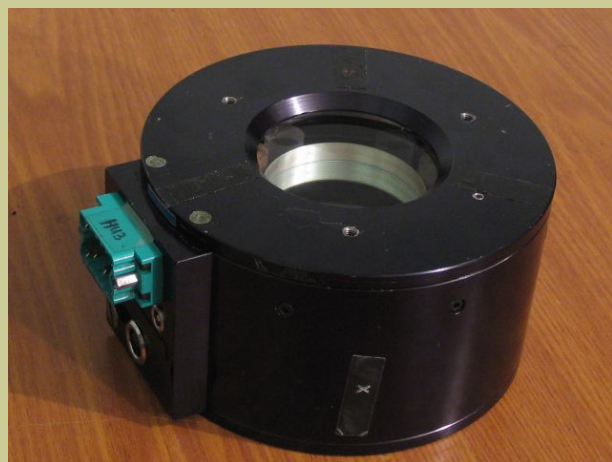
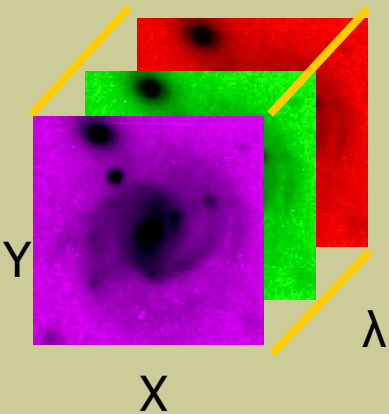


Т.А. Лозинская

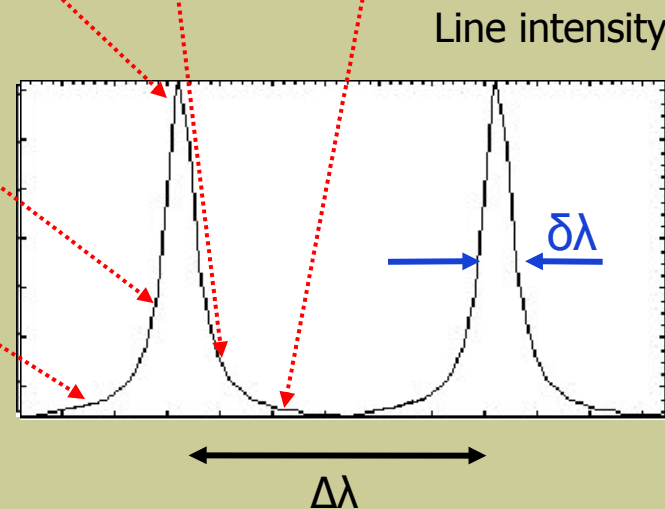


Карта лучевых скоростей

Сканирующий Интерферометр Фабри-Перо

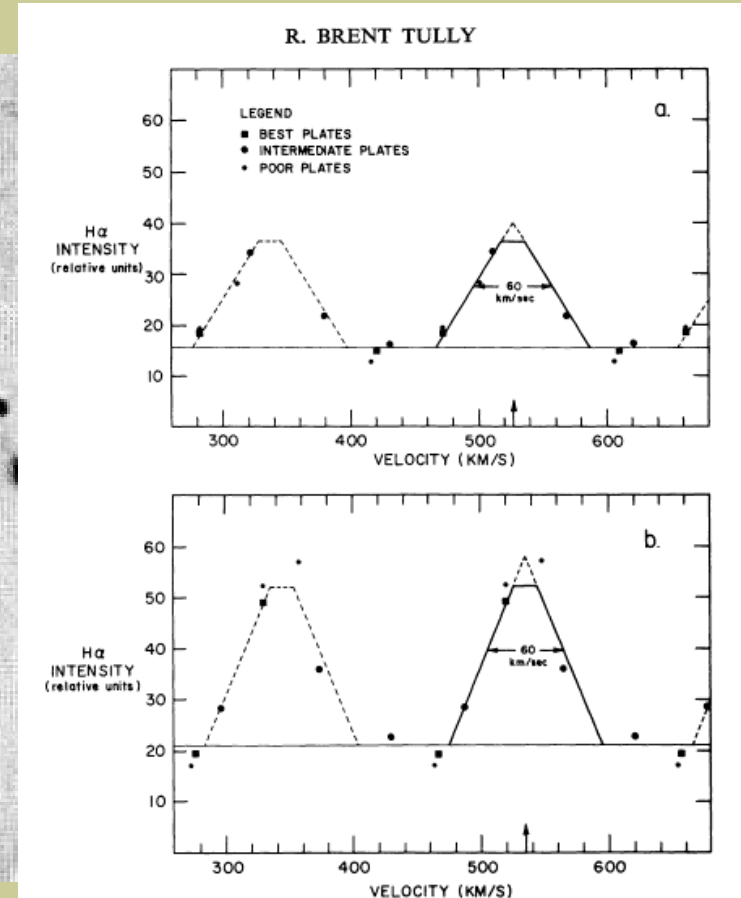
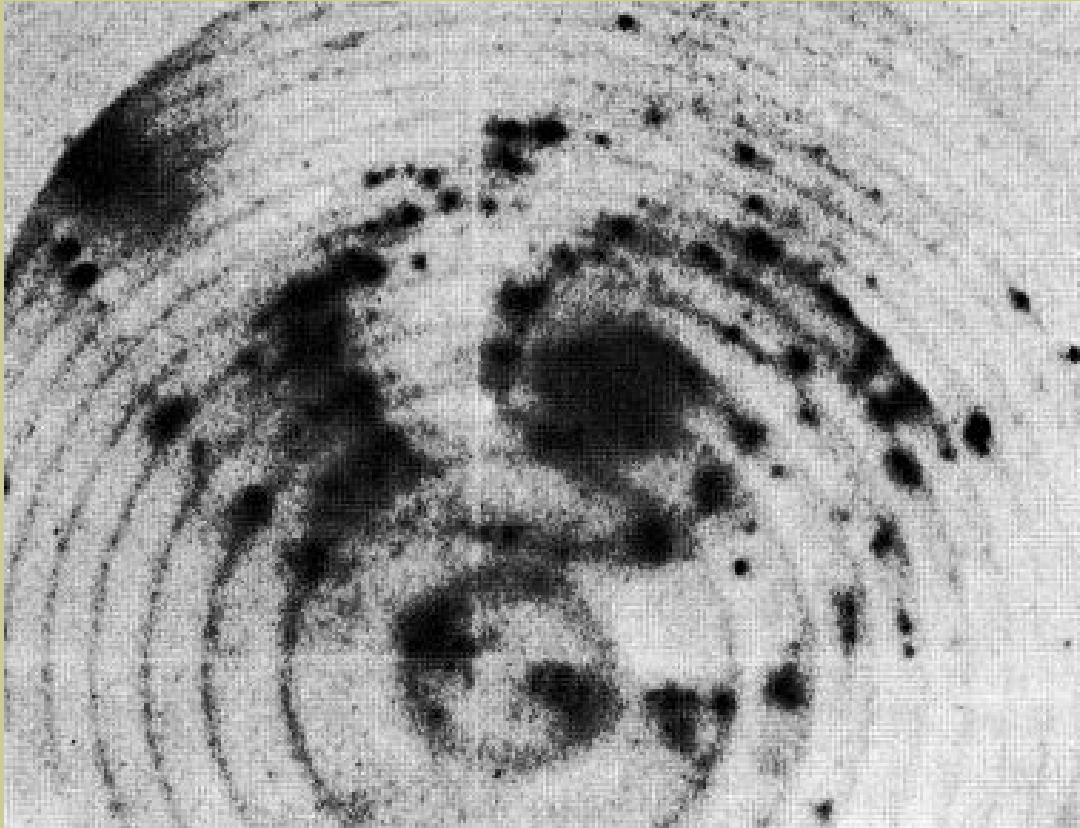


Пьезоэлектрический ИФП ET-50
Queensgate Inc. (IC Optical System Inc.)

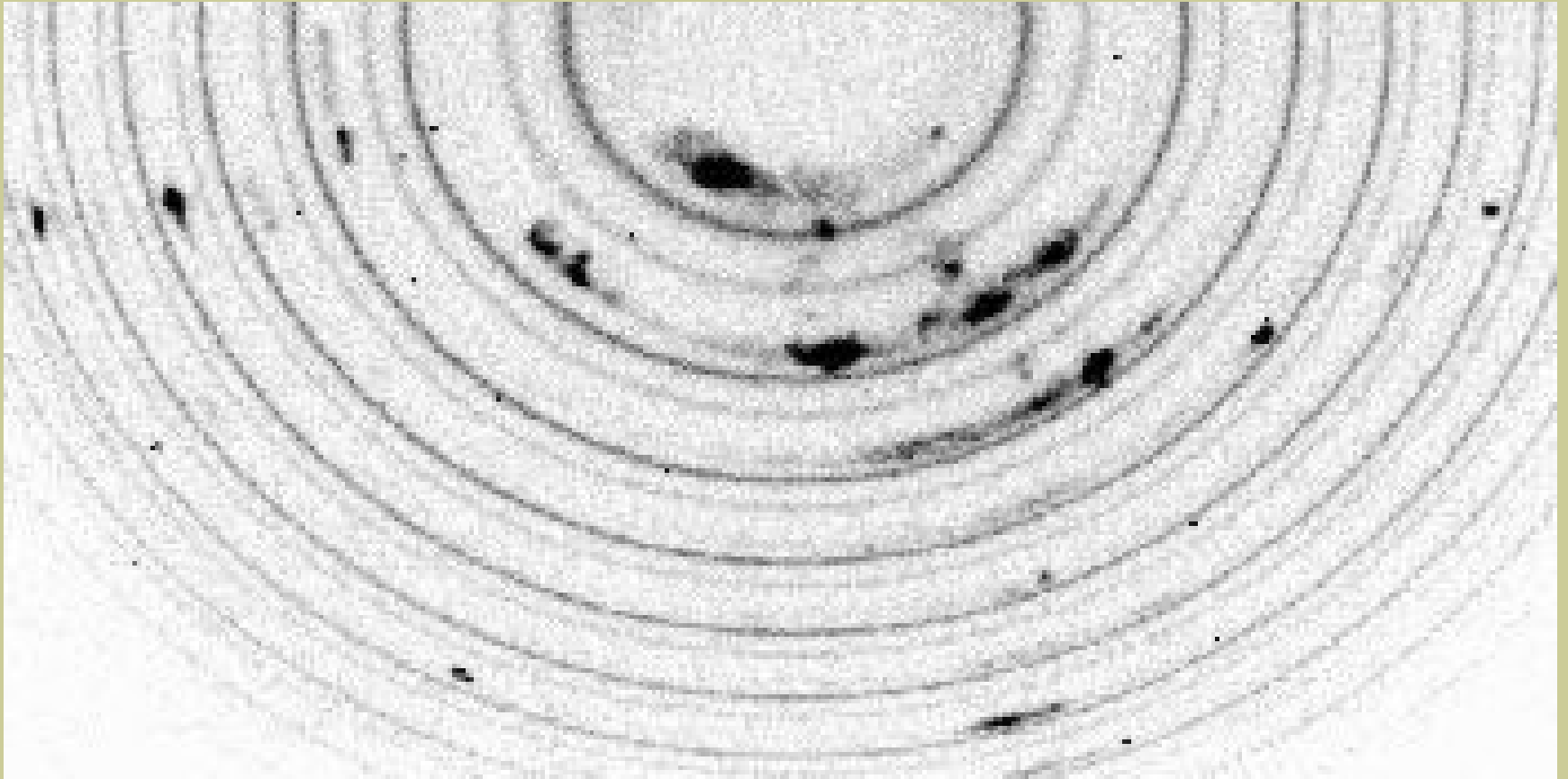


large field of view: 5-20 arcmin
high spectral resolution: $\delta\lambda = 0.2 \dots 2 \text{ \AA}$
small spectral range: $\Delta\lambda = \lambda/n = 5 \dots 50 \text{ \AA}$

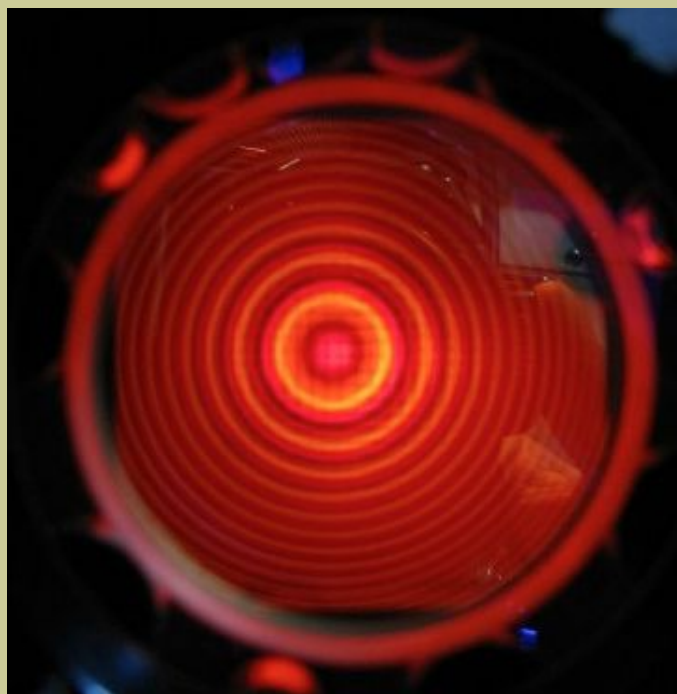
Первый куб данных с ИФП — M51 (Tully, 1974)



IC2976: SCORPIO-2



ИФП на SCORPIO-2: установка и настройка



Настройка — глазом по неонке



Аппаратный контур интерферометра

Свободный спектральный диапазон:

$$\Delta\lambda = \lambda/n$$

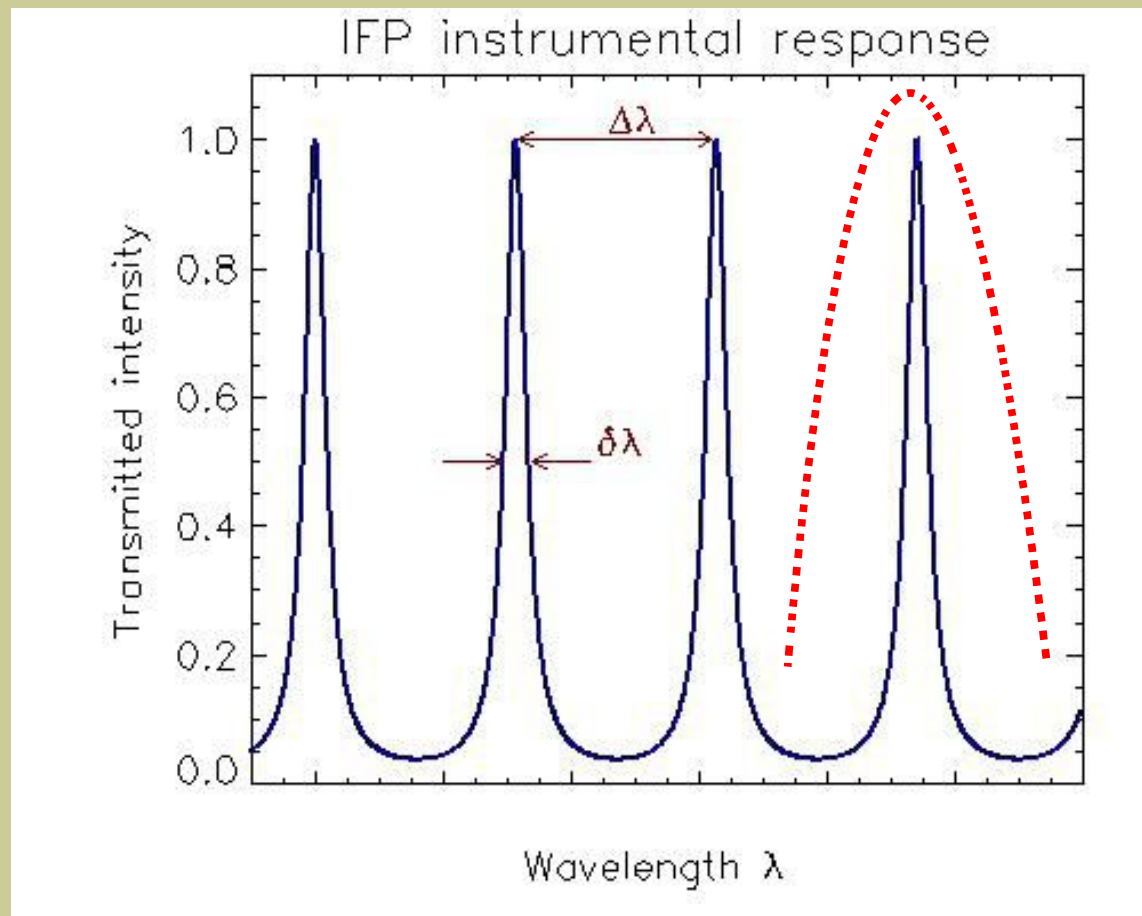
$$n = 100 \dots 1000$$

$$\Delta\lambda = 5 \dots 50 \text{ \AA}$$

$\delta\lambda$ - ширина профиля

Спектральное разрешение:

$$R = \lambda/\delta\lambda = n F$$



$F = \Delta\lambda / \delta\lambda$ - Effective Finesse (добротность, контраст, эффективное число интерферирующих лучей)

Спектральное разрешение прибора, основанного на принципах интерференции света:

$$R = \lambda / \delta\lambda = n N$$

Область свободная от перекрытия порядков:

$$\Delta\lambda = \lambda/n$$

n – порядок интерференции

N – число интерферирующих лучей

Решетка классического спектрографа: $n=1..3, N>1000$

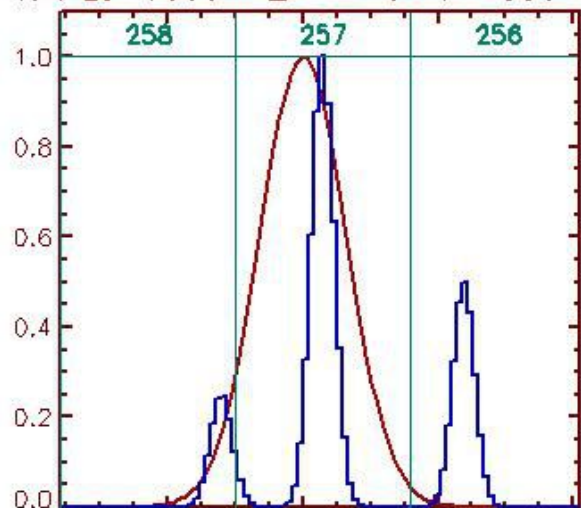
Эшеле спектрограф: $n=10..50, N>1000$

Интерферометр Фабри-Перо: $n=100..10000, N=10..100$

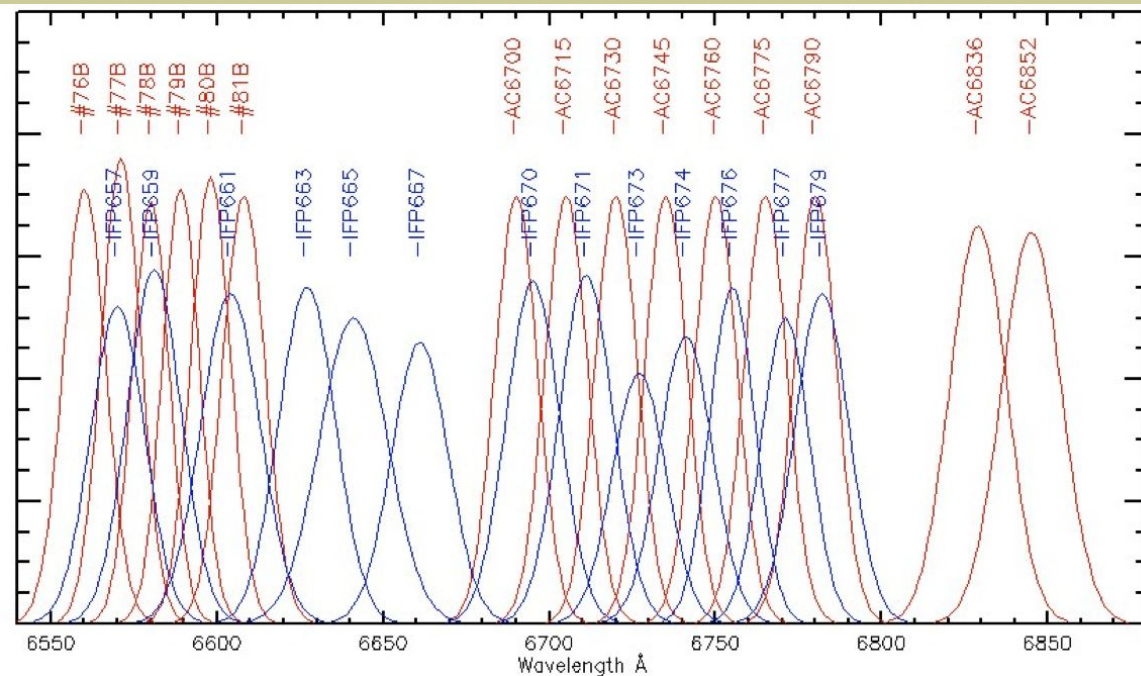
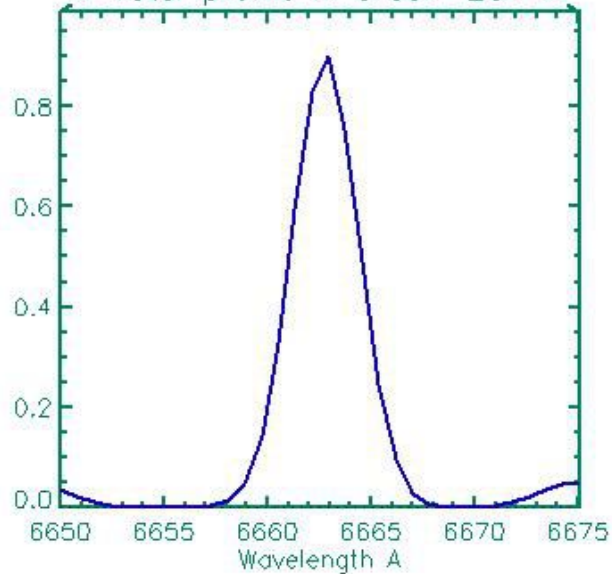
Фильтры для наблюдений с ИФП

Выделение области вокруг эмиссионной линии на разных красных смещениях

Filter: $L_c=6660$ $\Delta\lambda=15$ $V=4580$ km



Total profile in order 257

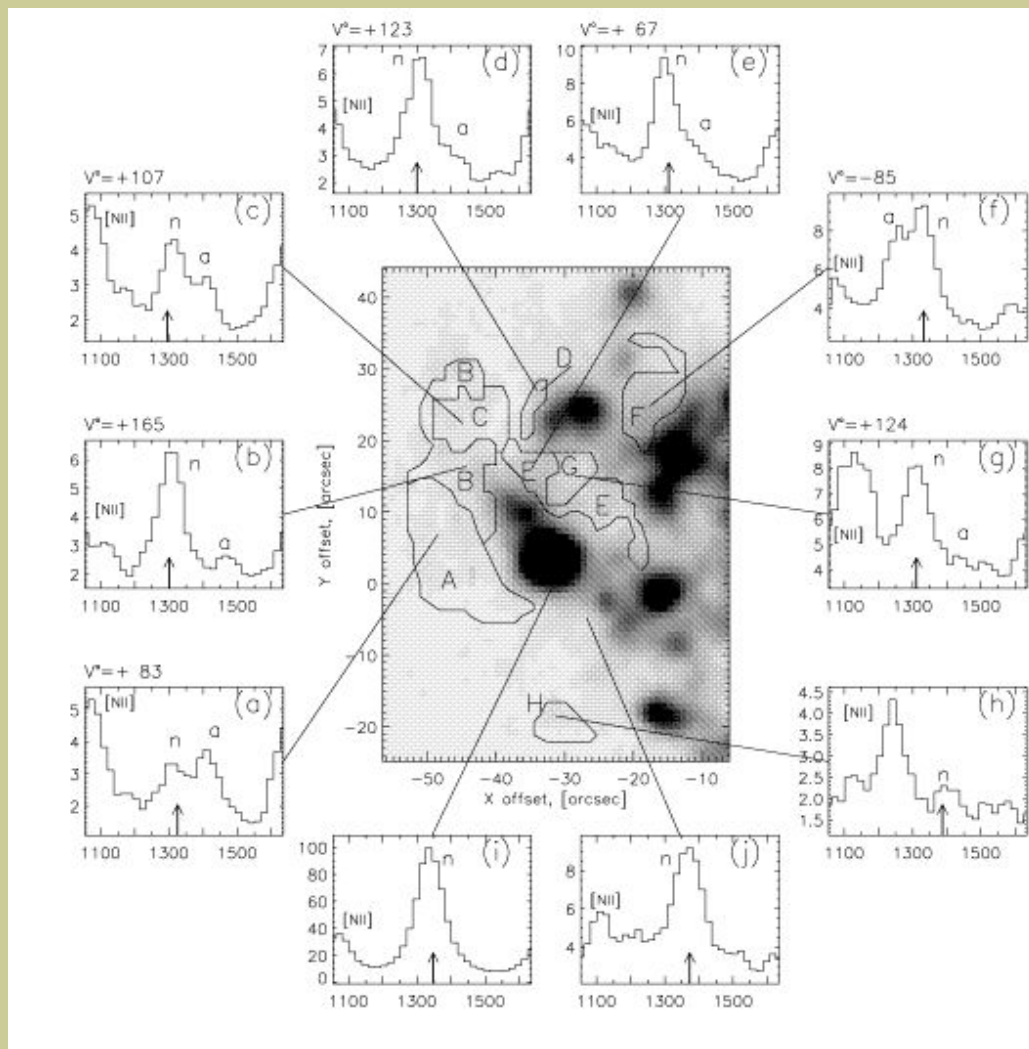
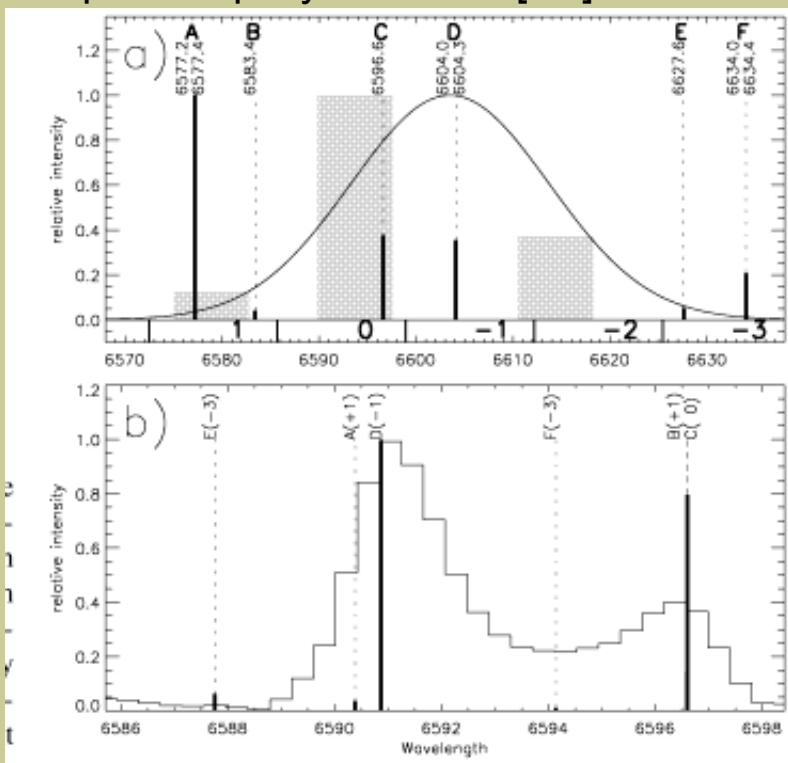


Метод хорош для изучения слабых эмиссий, но плохо работает на фоне яркого континуума (звездные абсорбции из соседних порядков)

Проблема наблюдений линий в области Н-альфа

Нет идеального фильтра :(
 FWHM < 10-15 Å: дорого, T < 50%
 FWHM > 10-15 Å: попадают близкие линии
 Подбираем n так, чтобы хорошо развести соседние линии ~0.5Δλ

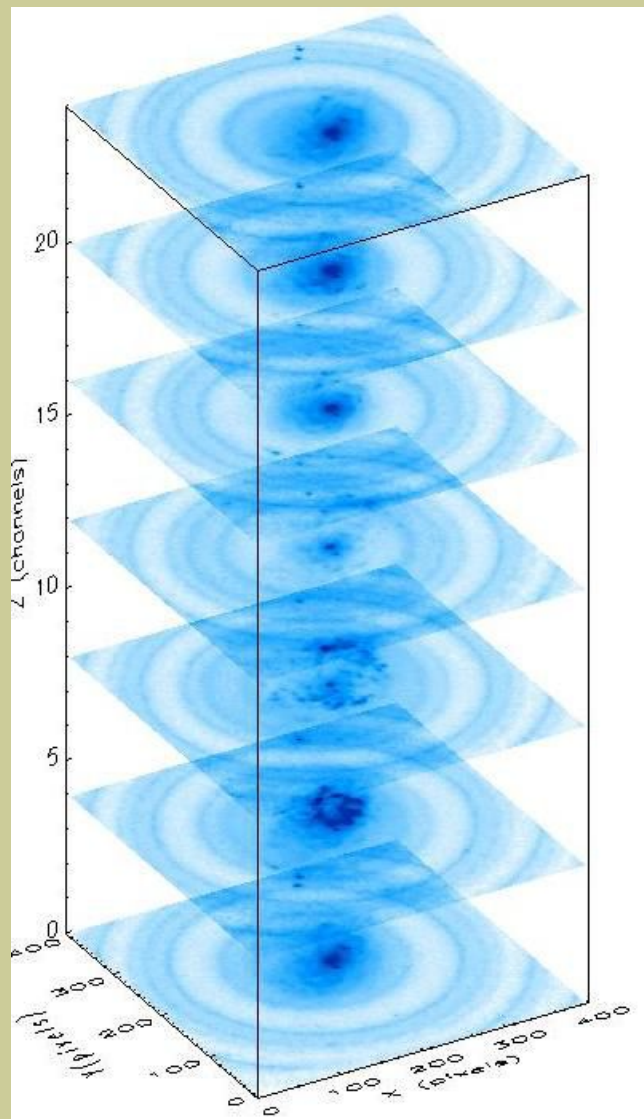
Но можно использовать и во благо -
 измерения сразу в Hα и в [NII]



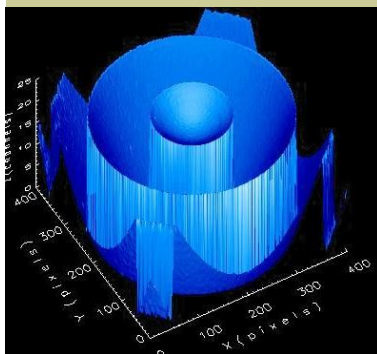
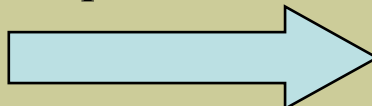
(Moiseev 2000)

Обработка данных: шкала длин волн, фазовая карта

Z=channels

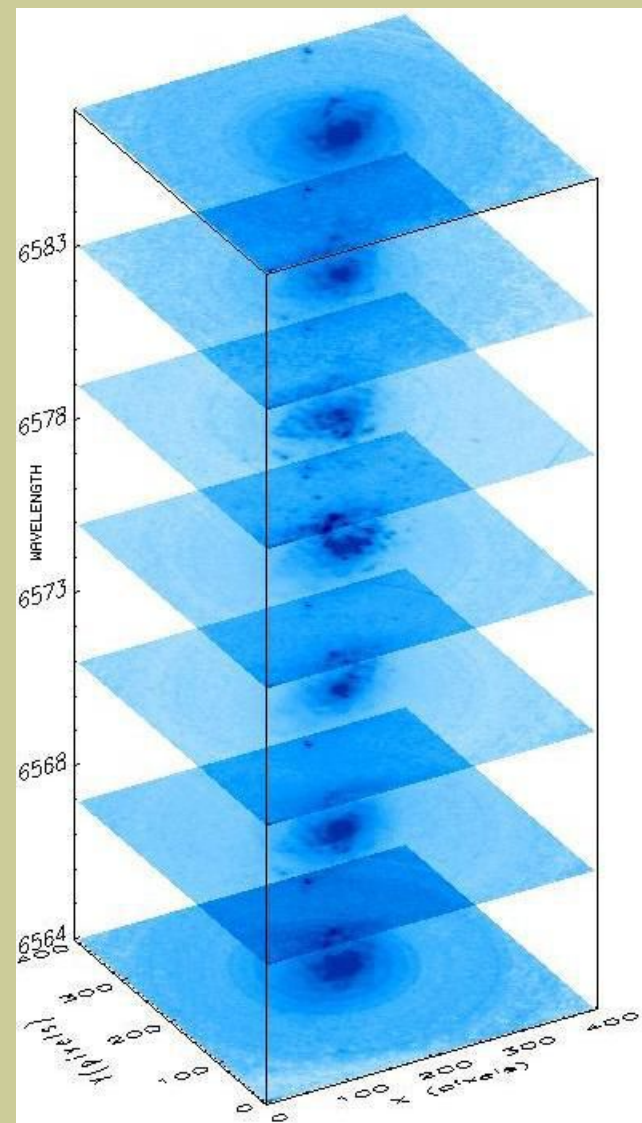


обработка



Положение центра калибровочной линии - "фазовая карта".

Z=Wavelength



Обработка данных: аппаратный контур

Функция Эйри

Лучшая аппроксимация (из простых функций) — профиль Лоренца

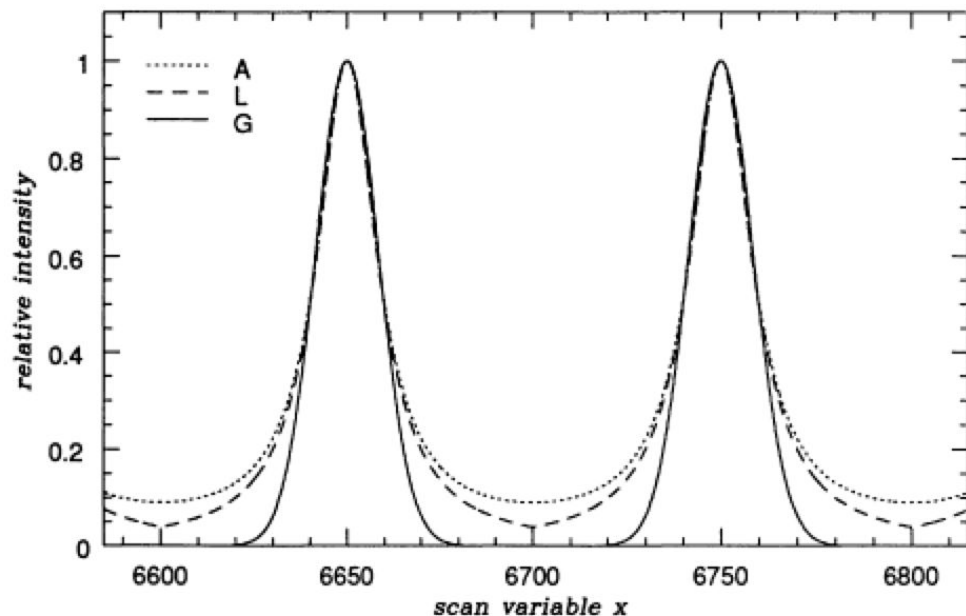


Figure 2. Three cyclic functions listed in Table 1 (column 2) shown at low finesse to emphasize their differences.

	$f(x)$
G	$\exp[-\ln 16 \operatorname{mod}[x, \Delta x]^2 / (\delta x)^2]$
L	$(1 + (\frac{2}{\delta x})^2 \operatorname{mod}[x, \Delta x]^2)^{-1}$
A	$(1 + \alpha \sin^2(\frac{\pi x}{\Delta x}))^{-1}$

Table 1: Cyclic functions which are periodic over Δx with FWHM δx . The (G)aussian, (L)orentzian and (A)iry functions are illustrated in Fig. 2. The *mod* function is the modulo function and $\alpha = (\frac{2}{\pi} \frac{\Delta x}{\delta x})^2$. Note that for large α , $(\frac{\Delta x}{\pi \sqrt{1+\alpha}}) \approx (\frac{\delta x}{2})$. The gap scanning variable x is offset by $\frac{\Delta x}{2}$ in practice.

Bland-Hawthorn (1995)

Обработка данных: аппаратный контур

В объектах с гауссовским уширением - наблюдаем профиль Фойгта

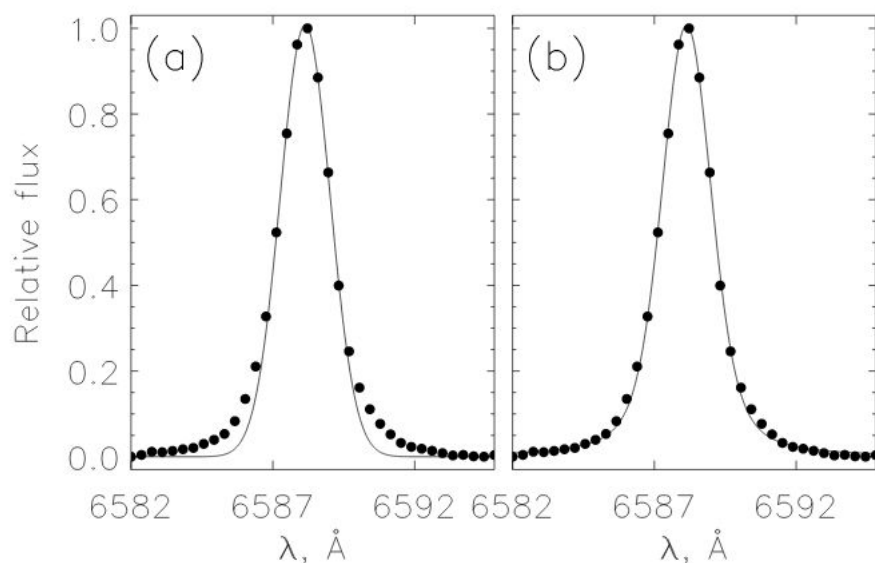


Рис. 4. Пример профиля спектральной линии $H\alpha$ в галактике II Zw 70 по наблюдениям с IFP501 (точки). Линией показана аппроксимация функцией Гаусса (a) и профилем Фойгта (b).

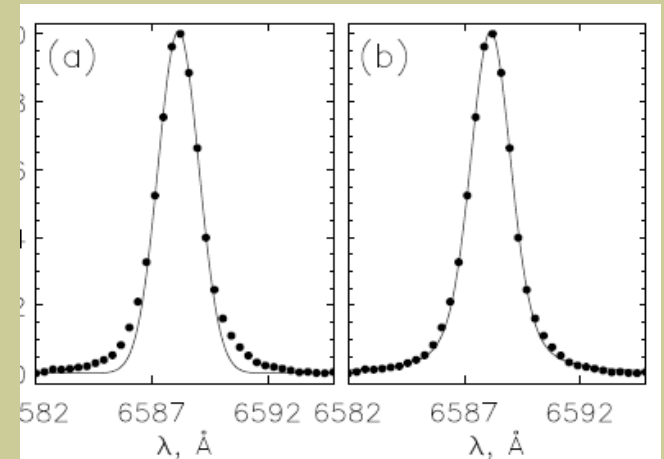
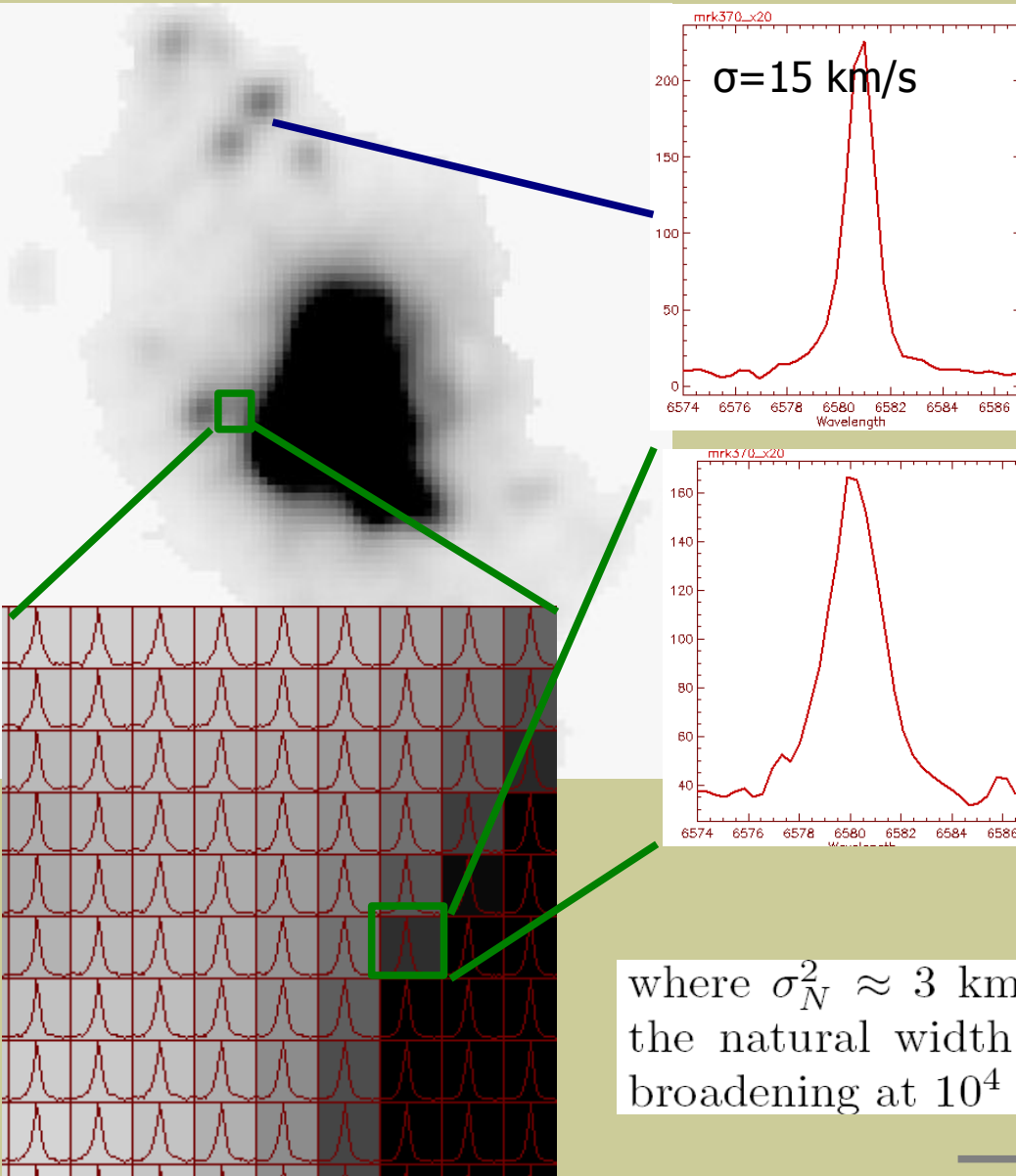
шением (4), то наблюдаемый профиль является сверткой профилей Гаусса и Лоренца, т. е. задается функцией Фойгта (Voigt):

$$V(\lambda, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{real}} \frac{y}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-x^2} dx}{y^2 + (a - x)^2}, \quad (5)$$

где

$$a = \frac{\lambda - \lambda_0}{\sqrt{2}\sigma_{real}}, \quad y = \frac{w_{ins}}{\sqrt{2}\sigma_{real}}.$$

Измерение дисперсии скоростей газа



Учет теплового фактора и тонкой структуры линий

$$\sigma_{real}^2 = \sigma_{gas}^2 + \sigma_N^2 + \sigma_{tr}^2$$

where $\sigma_N \approx 3$ km/s and $\sigma_{tr} \approx 9.1$ km/s correspond to the natural width of the emission line and its thermal broadening at 10^4 K, respectively.

CIGALE = "Cinematique des Galaxies"

J. Boulesteix + 1984

И система зашагала по телескопам:

3.6-m CFHT

1.5-m ESO

6-m BTA +KVANT

TAURUS (Taylor & Atherthon 1980)

TAURUS-2 (WHT 4.2m, AAO 3.6m)

PUMA (OAN 2.1m)

SCORPIO (BTA 6m)

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

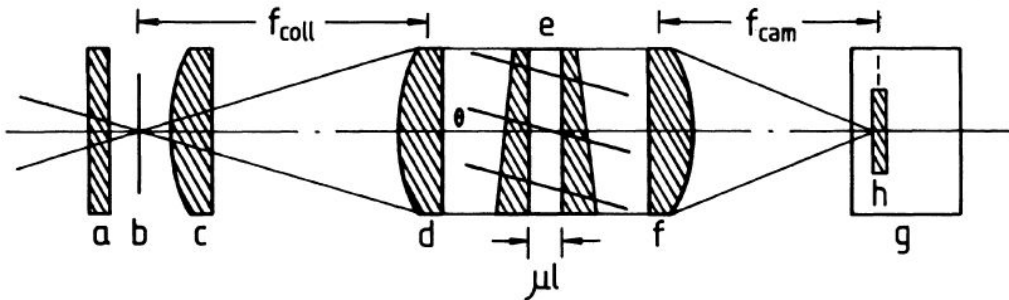
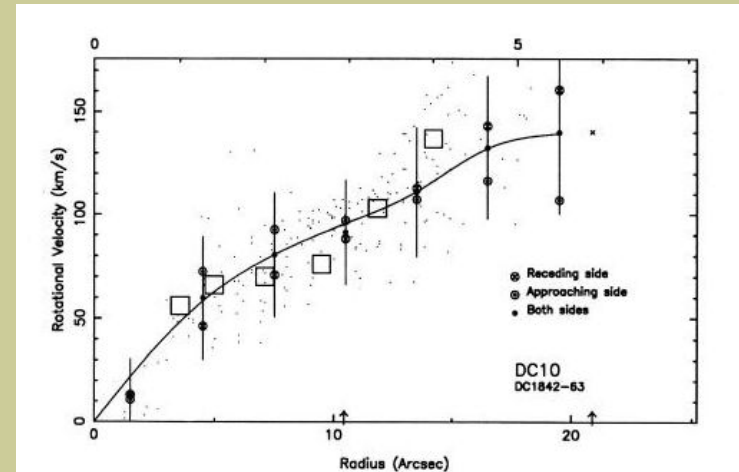
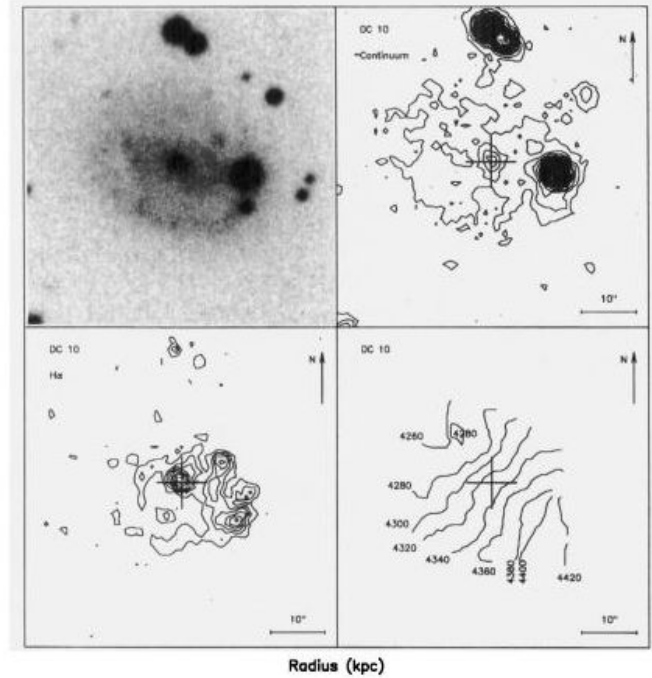
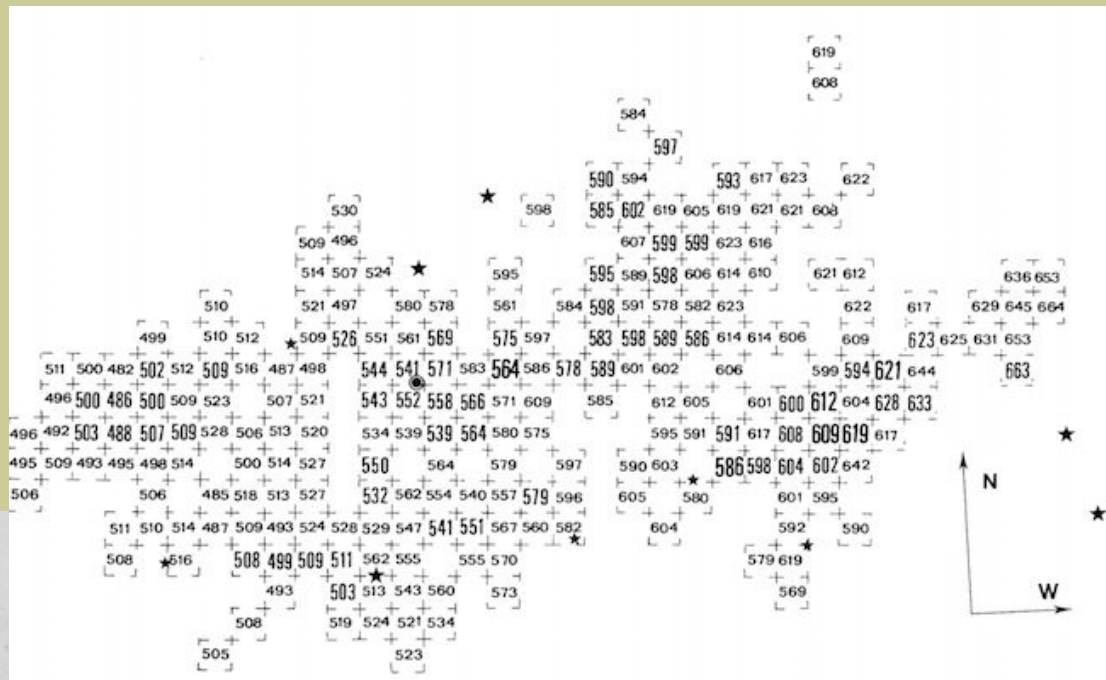


FIG. 1. Schematic drawing of an imaging Fabry-Perot interferometer comprising (a) interference filter, (b) focal plane, (c) field lens, (d) collimator lens, (e) Fabry-Perot etalon, (f) camera lens, (g) Dewar housing, (h) CCD.



Первые наблюдения на БТА

28 октября 1978 г.
Marcelin et al (1982)



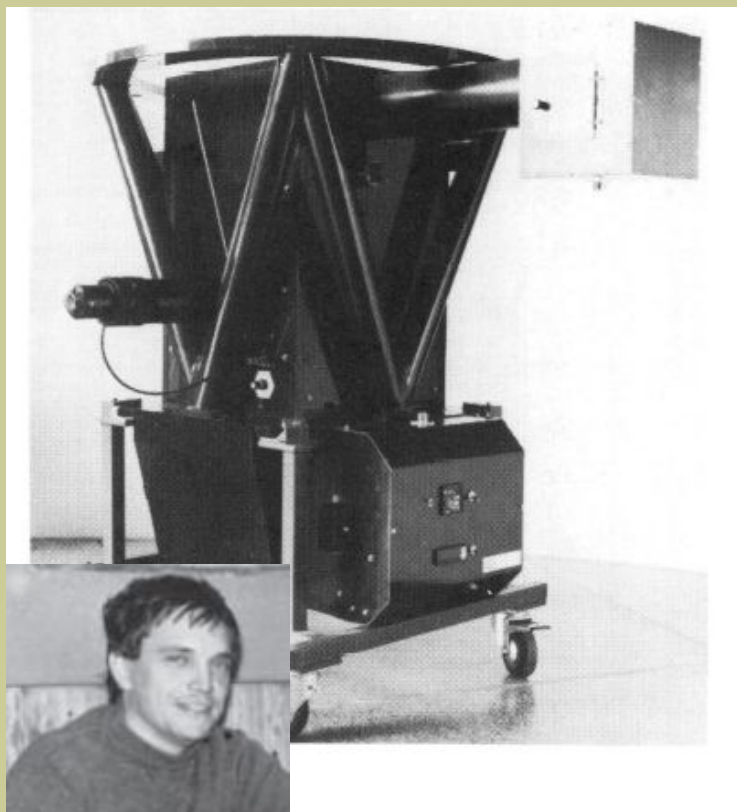
A series of six interferograms was obtained by Boulesteix and Courtès with the Special Astrophysical Observatory 6 m telescope in Zelenchuk in 1978 (first trial with a direct photographic plate) and 1979 (five exposures with image tube). A focal reducer with a

CIGALE и КВАНТ

CIGALE

(Cinématique des Galaxies)

Boulesteix et al 1984



J. Boulesteix

“КВАНТ” 512x512 px
(Афанасьев и др. 1987)

САО + ВНИИТ

1991 – Госпремия СССР



А.Ф. Фоменко



Ю.Ю. Балега



С.В. Маркелов



Испытания комплекса «Квант». С.Н. Додонов, С.В. Драбек, Н. Шпекина и специалисты ВНИИ телевидения (г. Ленинград)

GHaFaS: Galaxy Halpha Fabry-Perot Spectrometer

3th-generation (IPCS), QE=23%

GaAs фотокатод + микроканальная пластина

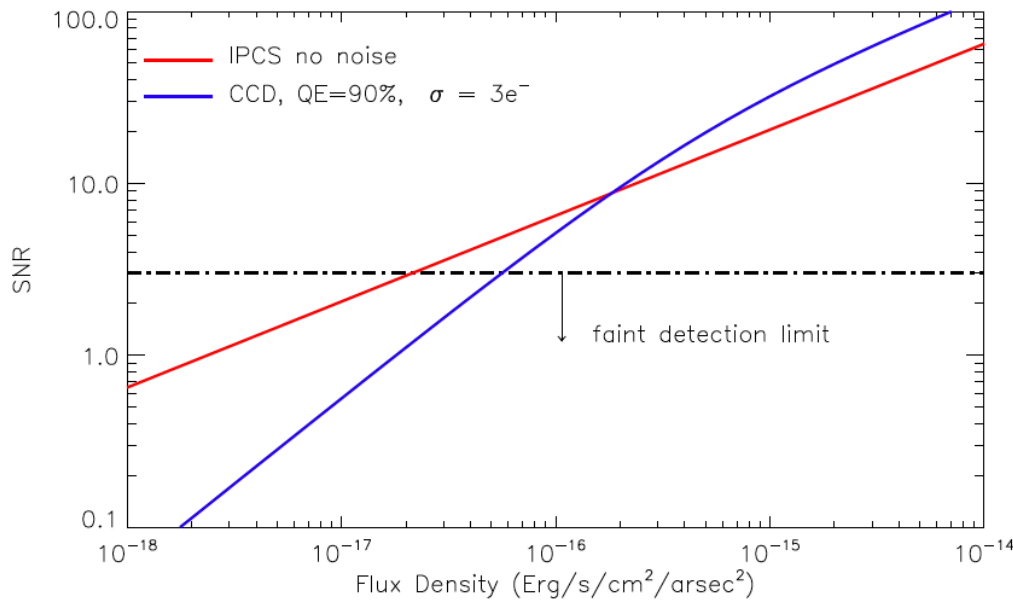
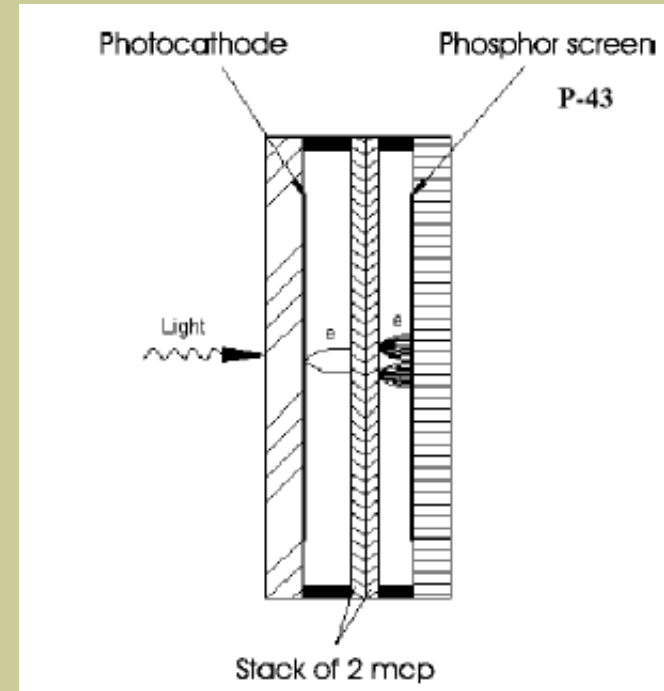


Fig. 5.— Signal to noise ratio comparison: IPCS and CCD at the WHT. The red line shows the SNR for an IPCS, for a 3 hour exposure of 40 cycles with 48 channels, on a 4.2m telescope with a pixel size of 0.5" assuming a trough-put of the telescope of 80%. The blue line shows the SNR of a scientific grade CCD with a QE of 90% and a readout noise (σ) of $3e^-$ in the same exposure conditions. The faint detection limit is



Выигрыш по сравнению с ПЗС, когда $T(\text{exp}) < T(\text{read-out})$

Gach + 2002

Hernandez + 2008

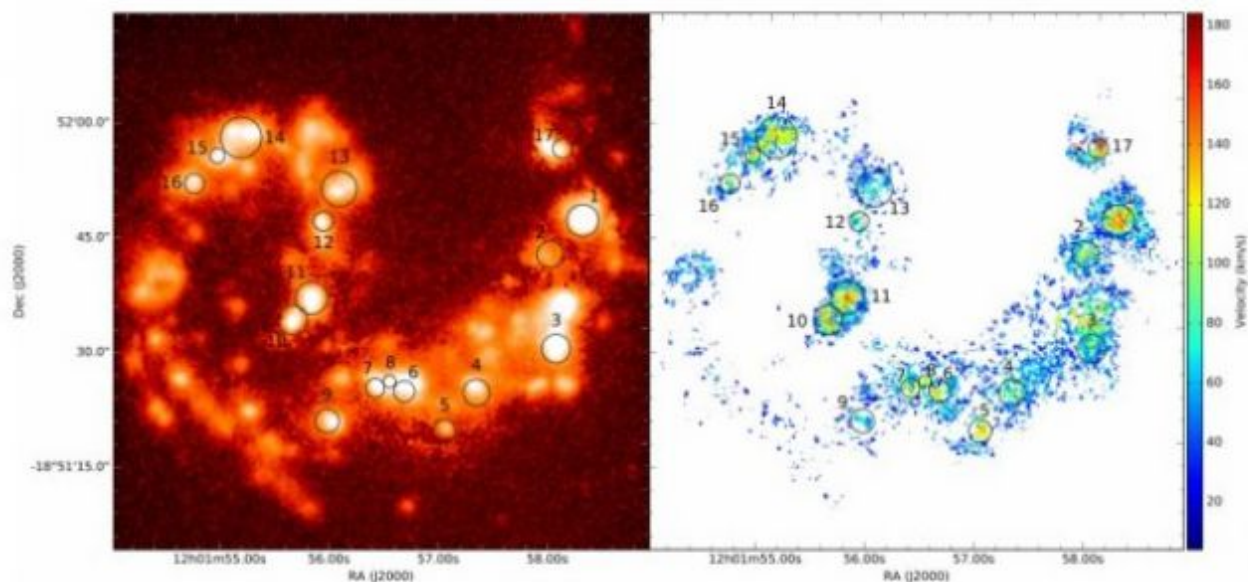
GHaFaS: Galaxy Halpha Fabry-Perot Spectrometer



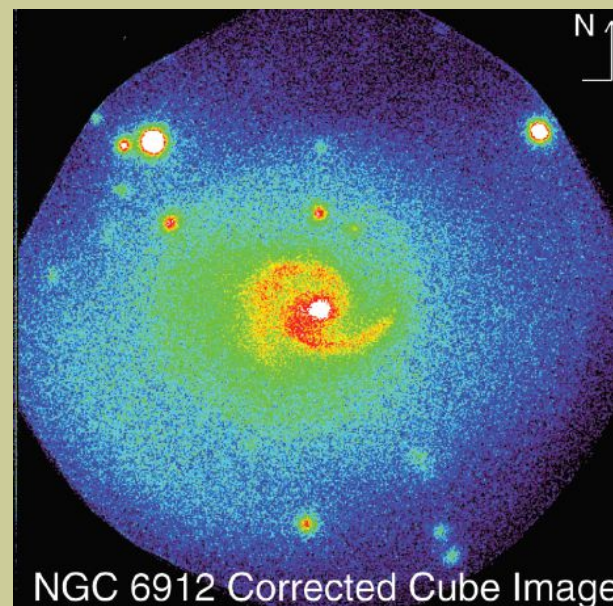
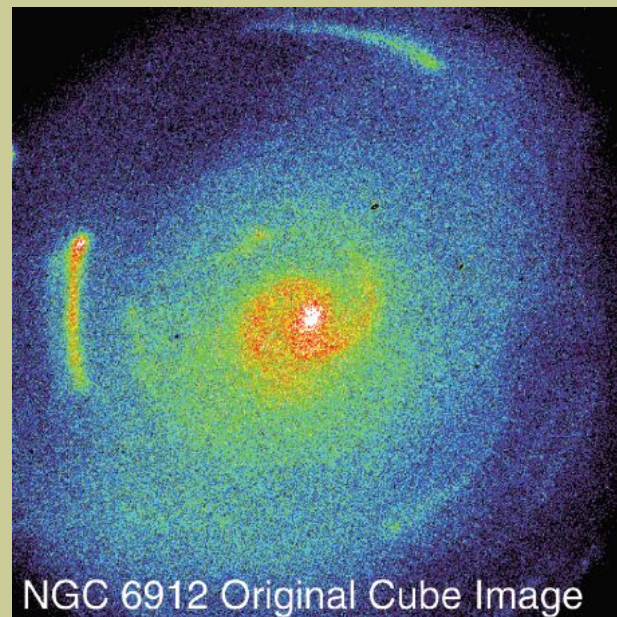
Superbubbles in the interstellar medium

May. 1, 2017

Their detection in the interacting galaxies, the "Antennae", was possible thanks to a new method -BUBBLY- developed by IAC researchers and the GHaFaS instrument installed on the William Herschel Telescope.



GHaFaS: Galaxy Halpha Fabry-Perot Spectrometer



- Вращение поля:
требуется минимум 2 ярких звезды для “деротации”

GhaFaS vs SCORPIO-2

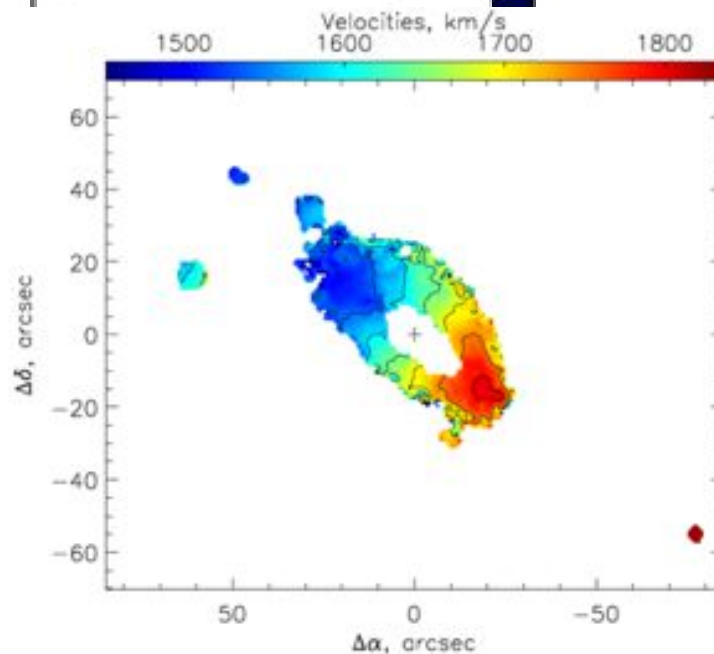
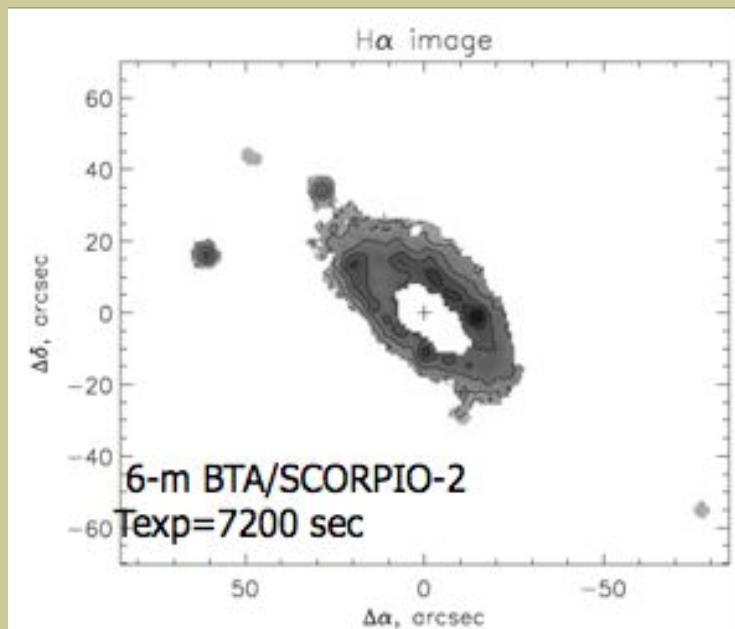
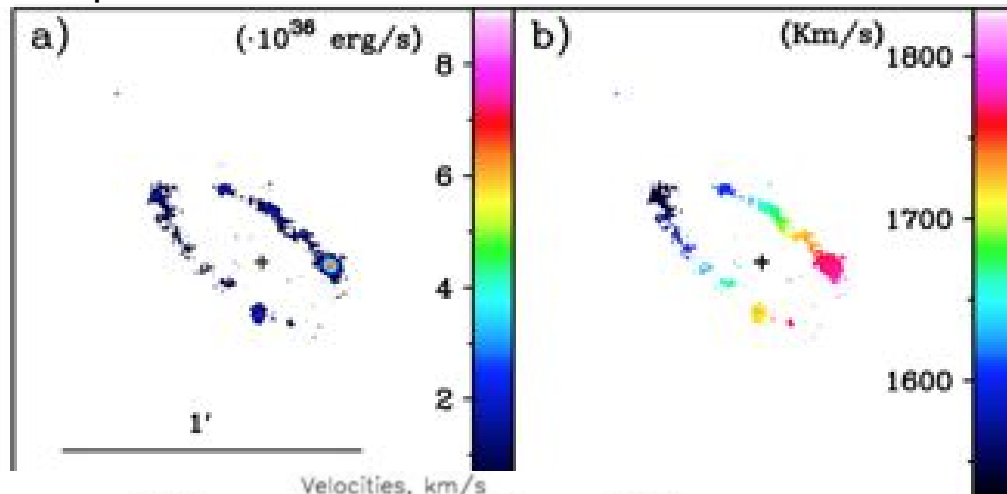
H α kinematics of S⁴G spiral galaxies-II. Data descript

S4G: Erroz-Ferrer + 15

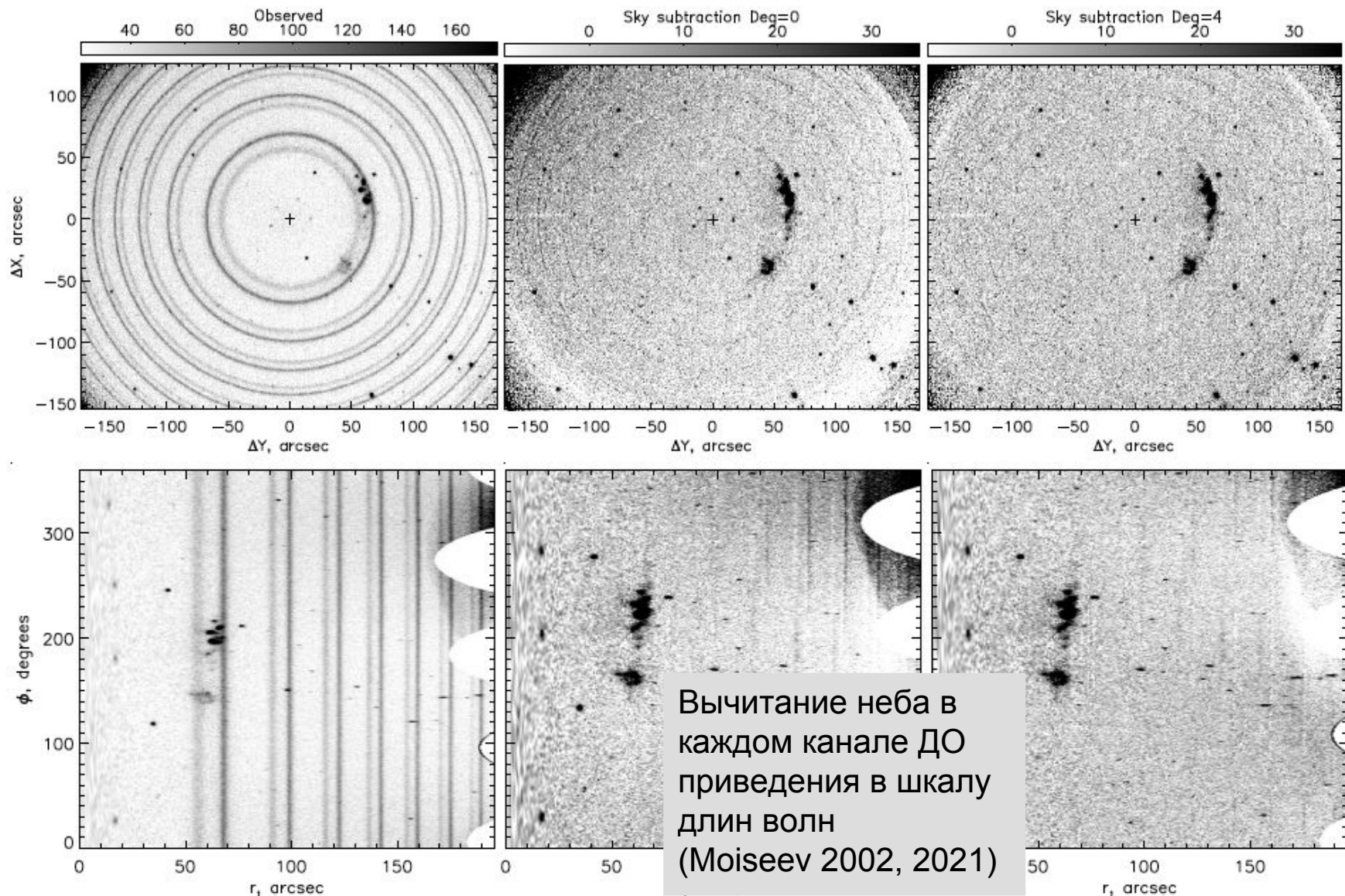
4.2-m WHT/GHaFaS

Texp=8160 sec

NGC 4324



Обработка данных с ПЗС: вычитание фона неба



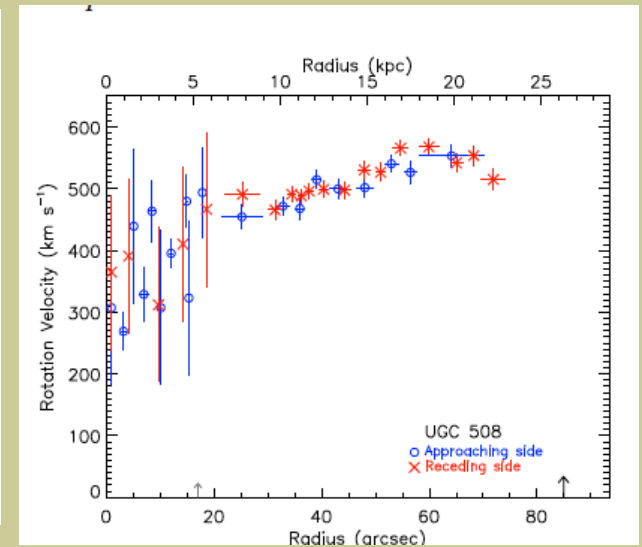
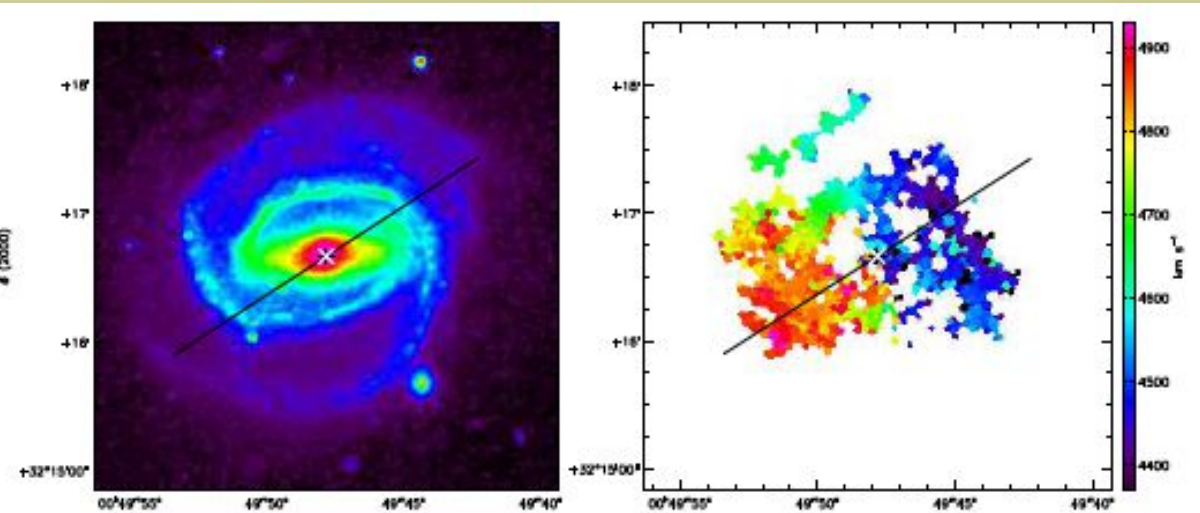
Где это интересно?

Техника считается “сложной”, но обладает рядом преимуществ, в сравнении с другими методами 3D спектроскопии:

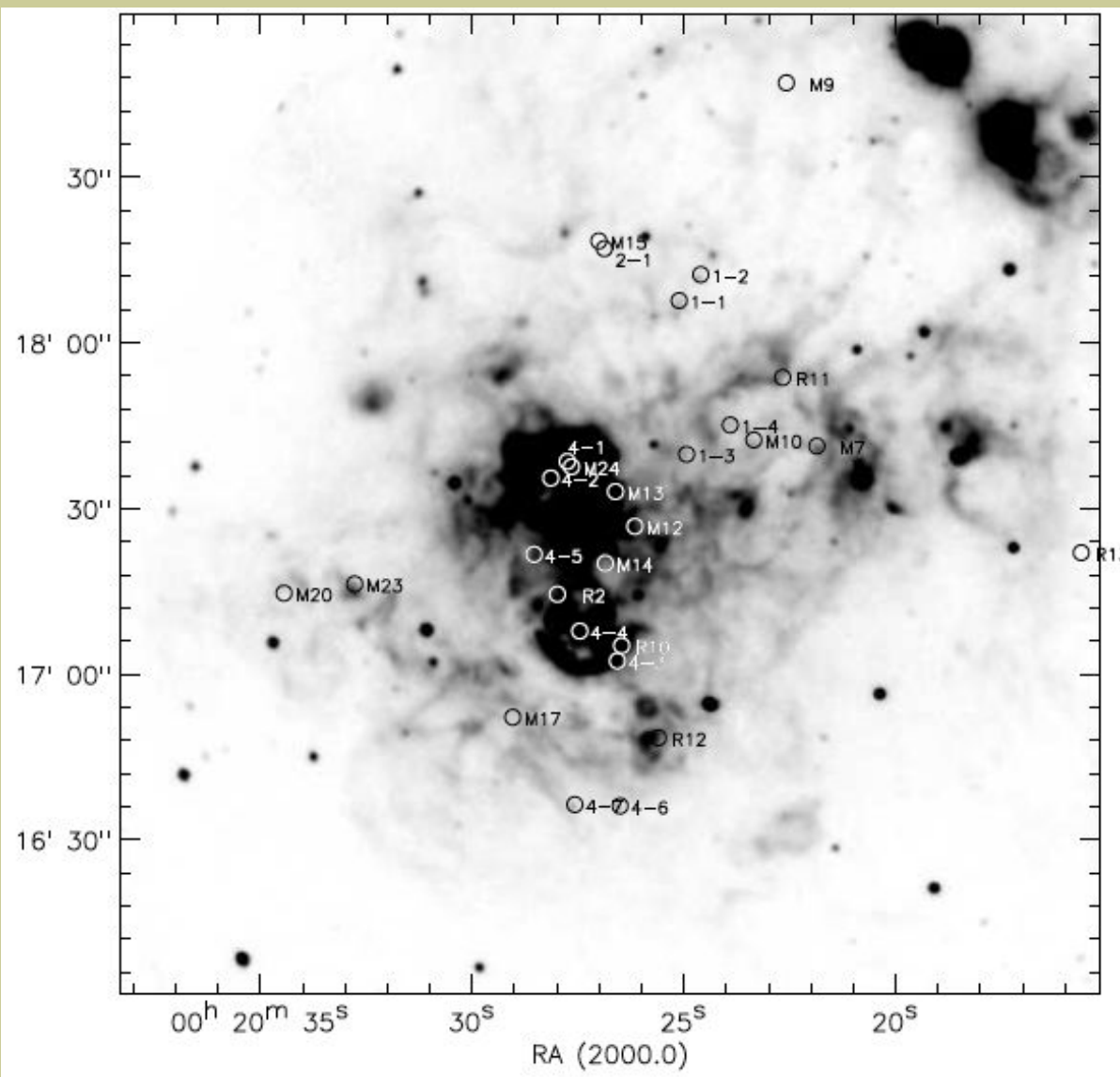
- большое поле зрения: $FOV > 1 \text{ arcmin}$
- высокое спектральное разрешение: $R > 5000-10000$
- достаточно измерений в 1-2 эмиссионных линиях

=> Кинематика газа в галактиках и туманностях

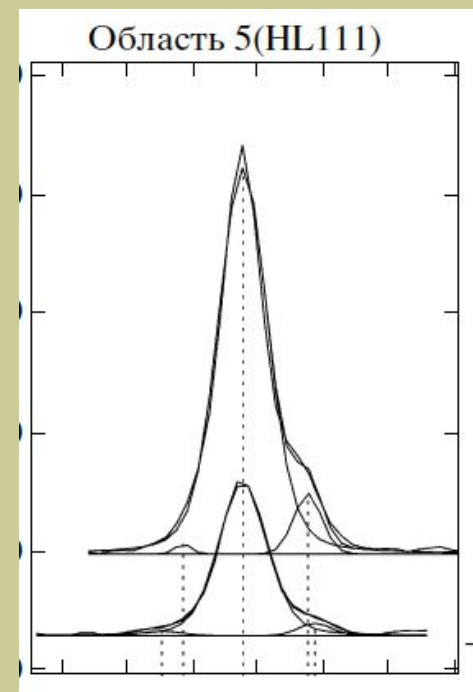
GHASP: An H α kinematic survey of 203 spiral and irregular galaxies



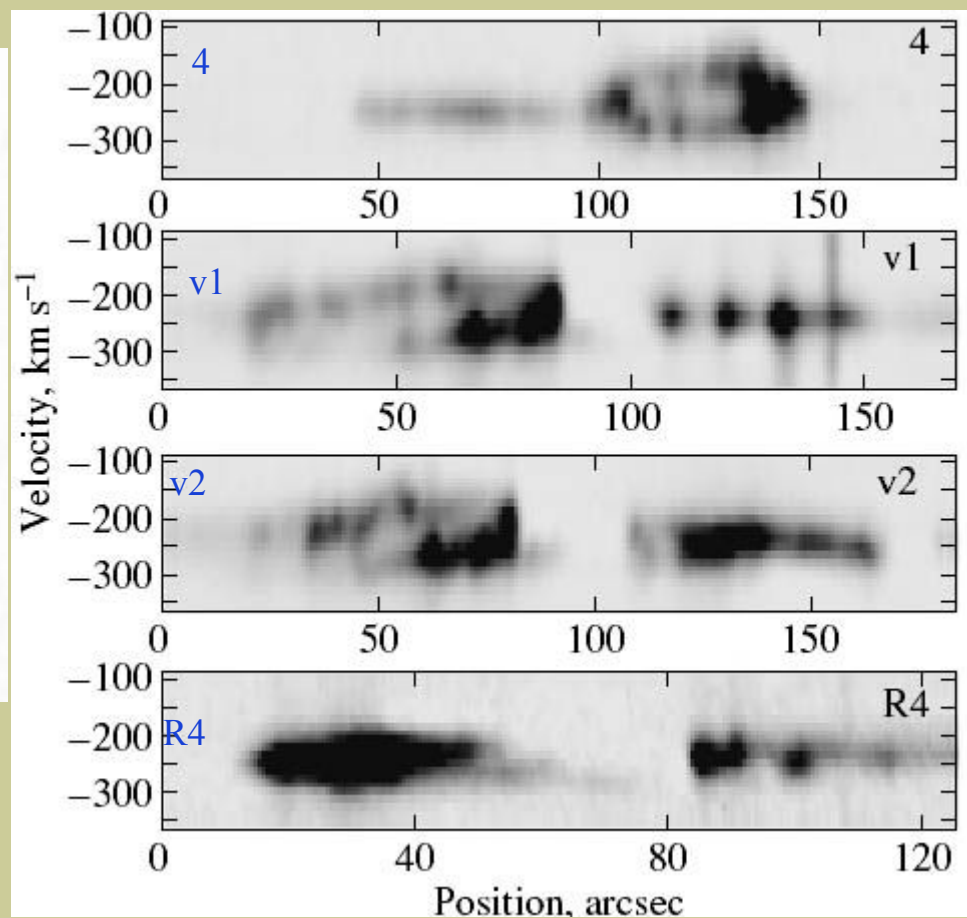
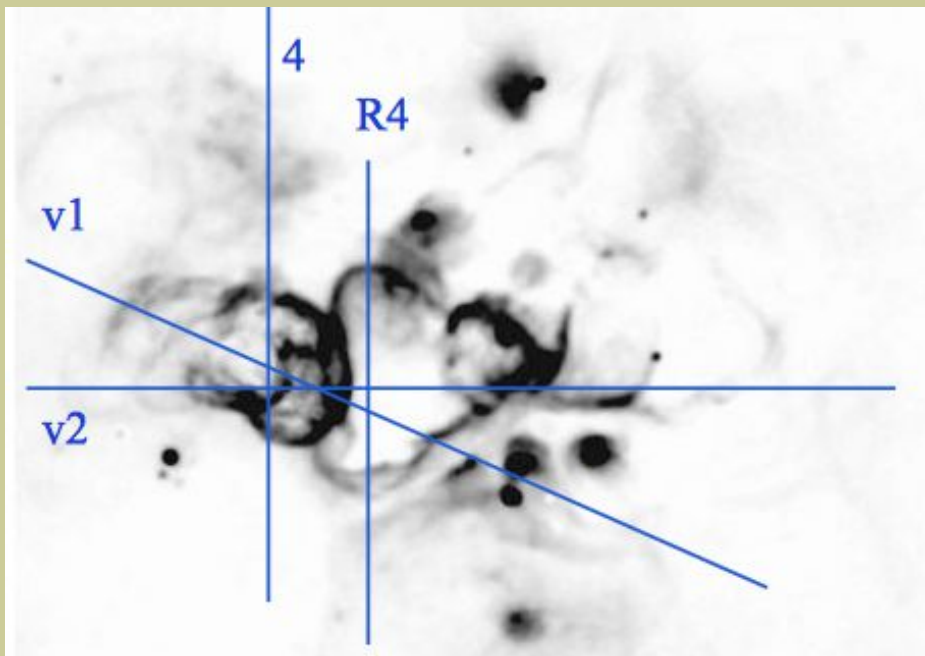
Области звездообразования в IC10



Полный куб:
1024x1024x36
0.35"/px
seeing=1.2"



Способы визуализации куба: PV-диаграммы

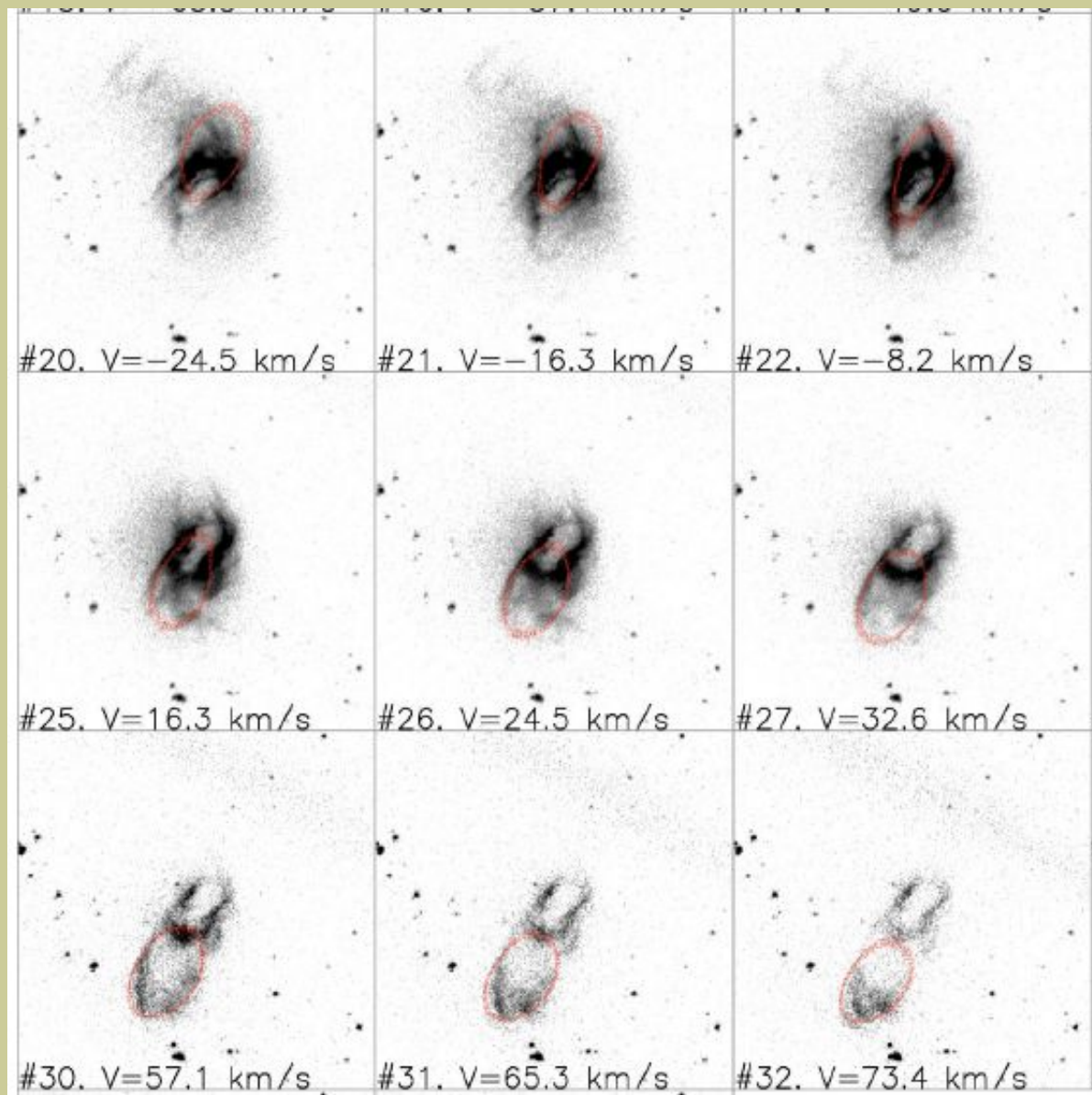
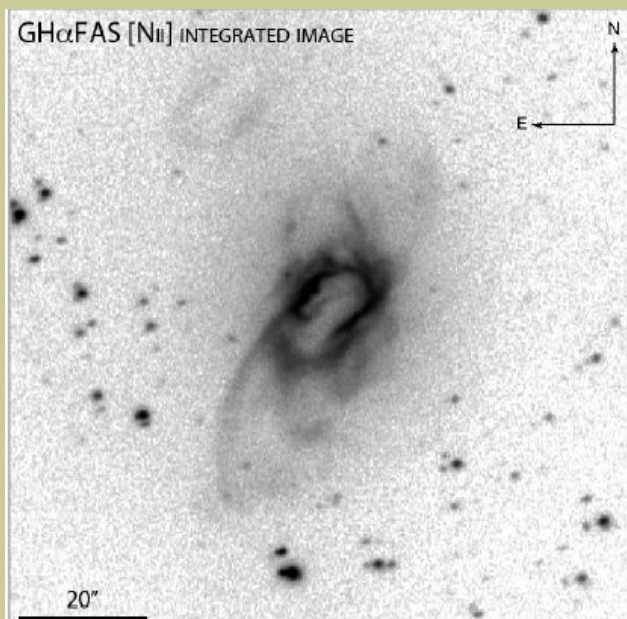


IC1613

Lozinskaya + 2003, 2005

Способы визуализации куба: поканальные карты

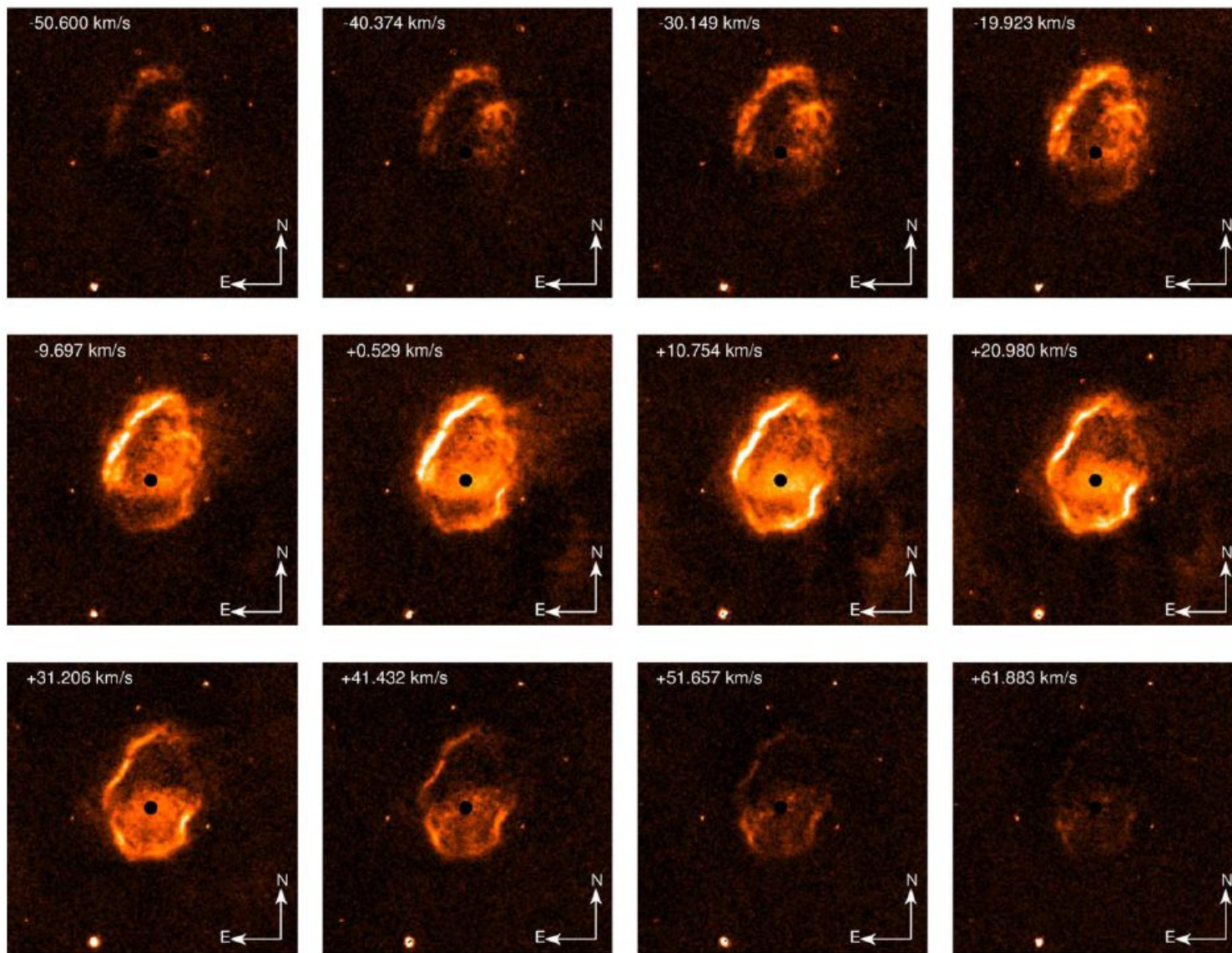
Quadrupolar nebula M1-75
(Santander-García + 2010)



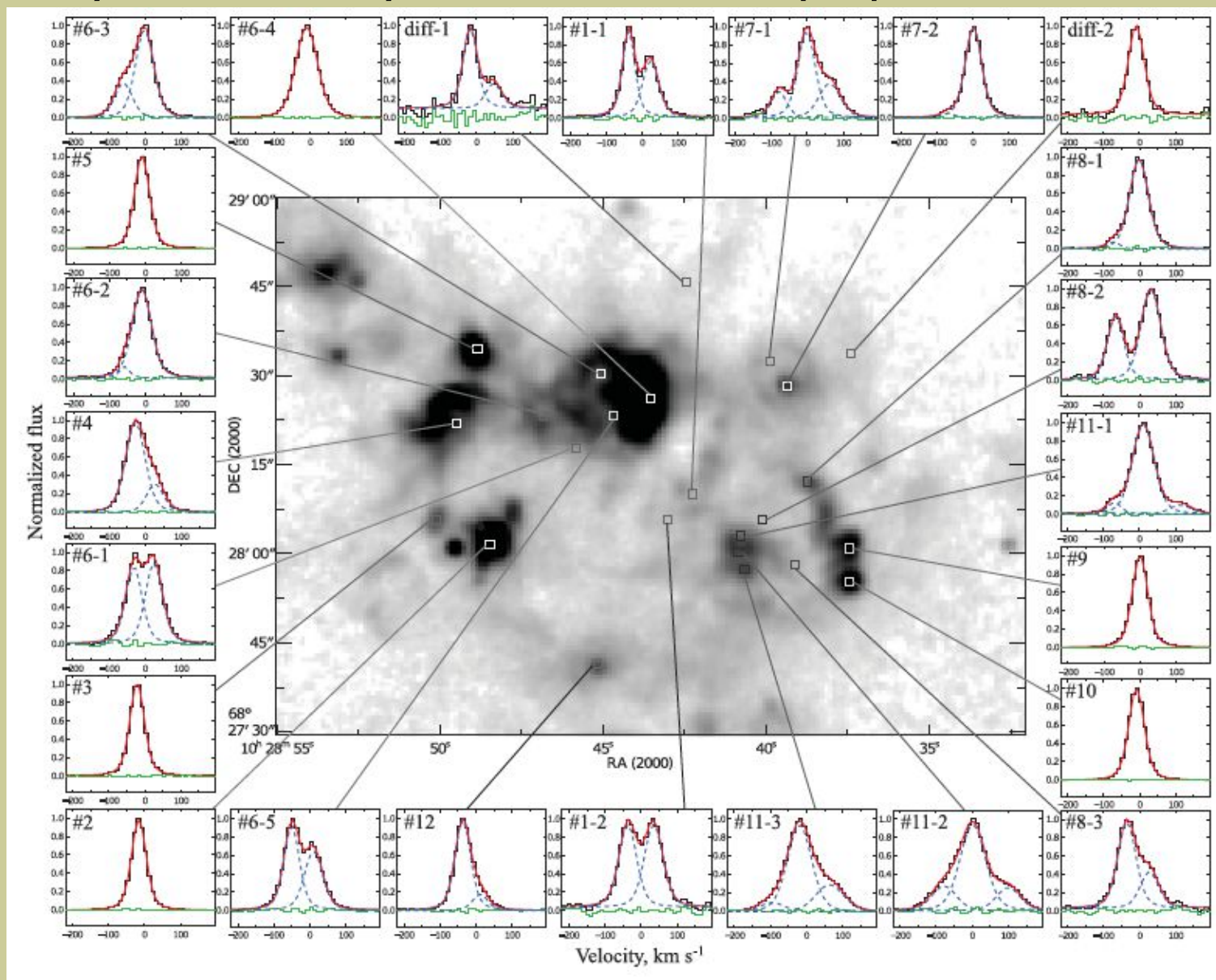
Способы визуализации куба: поканальные карты

THE ASTRONOMICAL JOURNAL, 162:150 (14pp), 2021 October

Kraus et al.



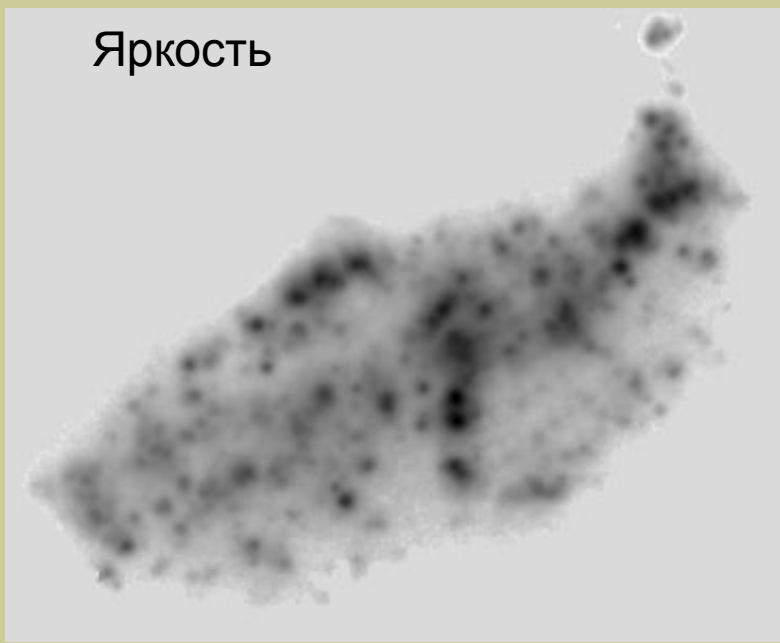
Способы визуализации куба: отдельные профили



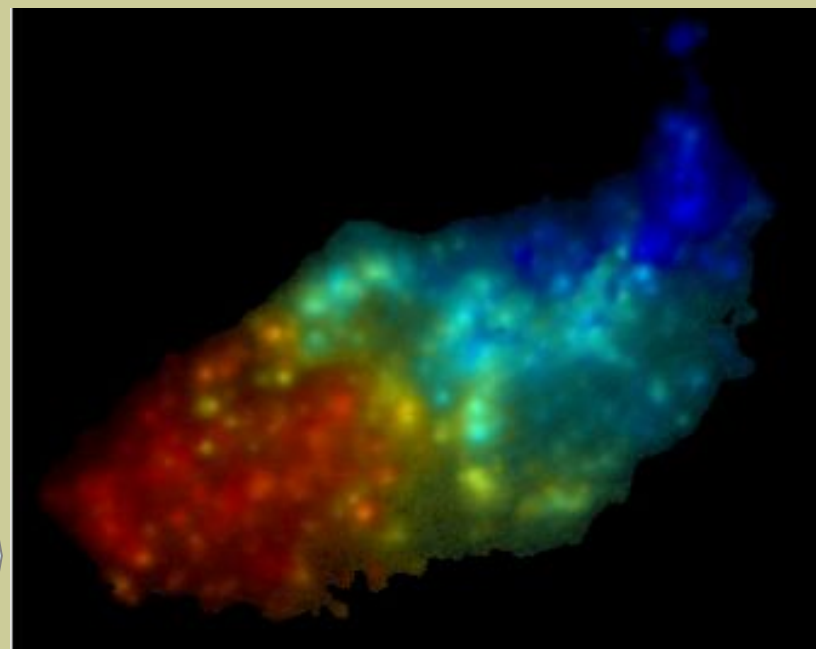
Egorov+2014

Способы визуализации куба: совмещение карт

Яркость



Скорость



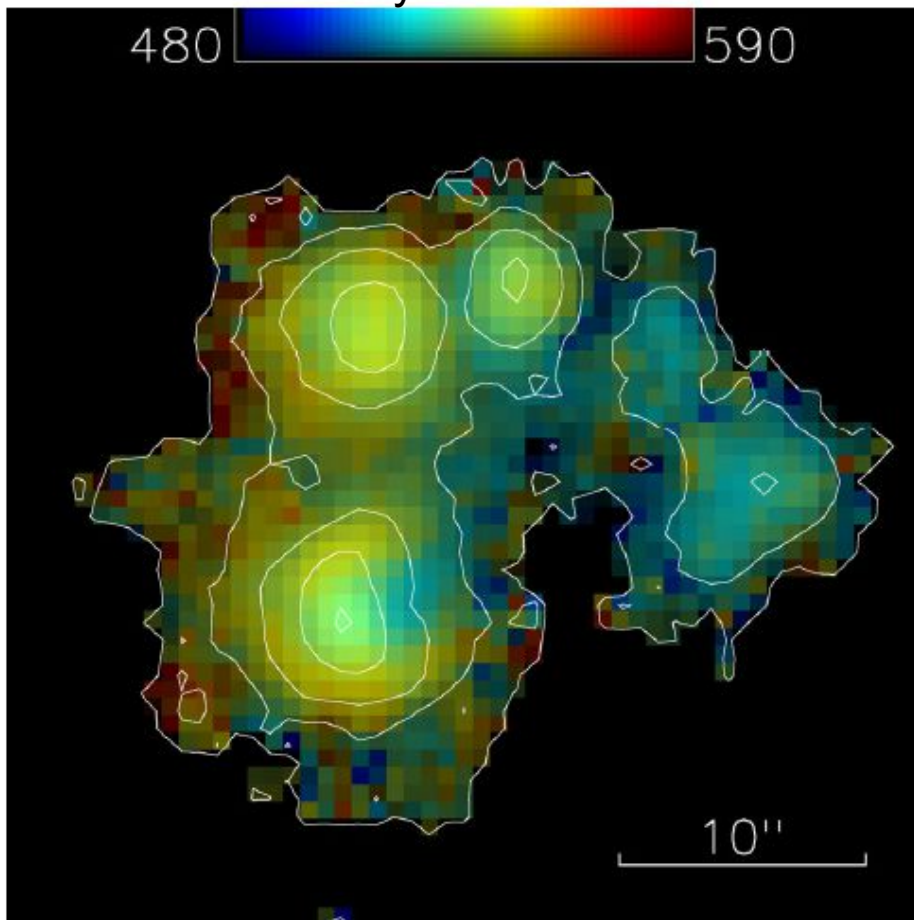
MUSE colour-coded image of NGC 4650A

Способы визуализации куба: совмещение карт

S. A. Pustilnik et al. 2017

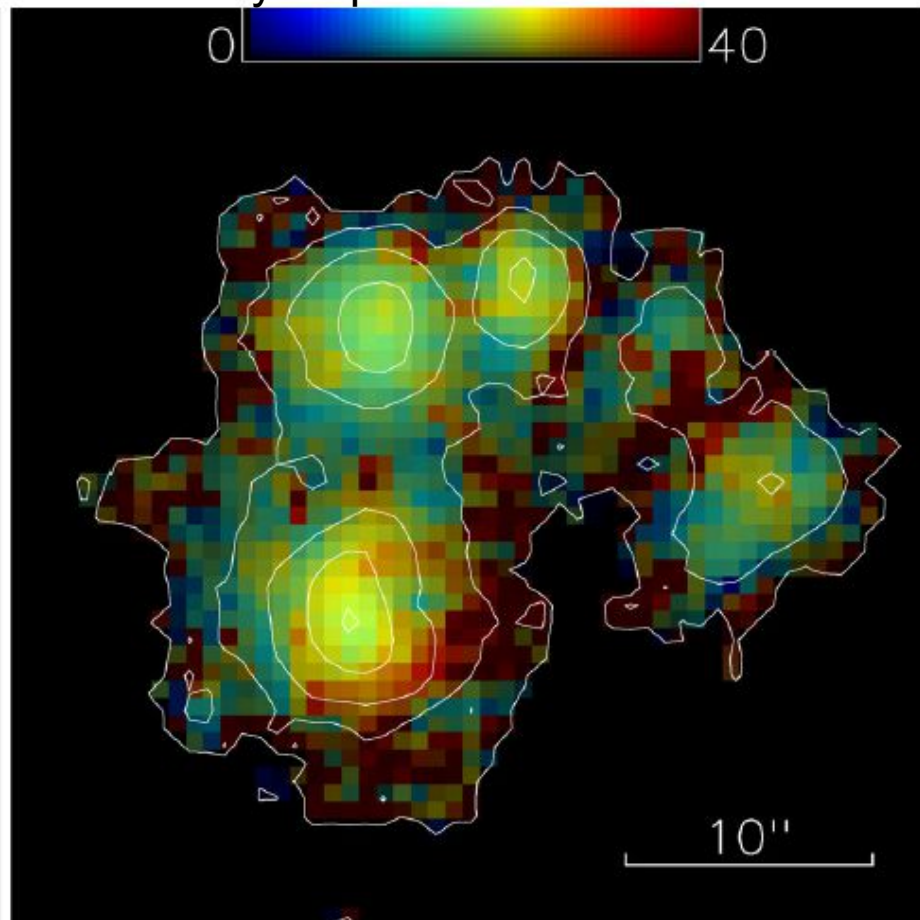
Velocity

480  590

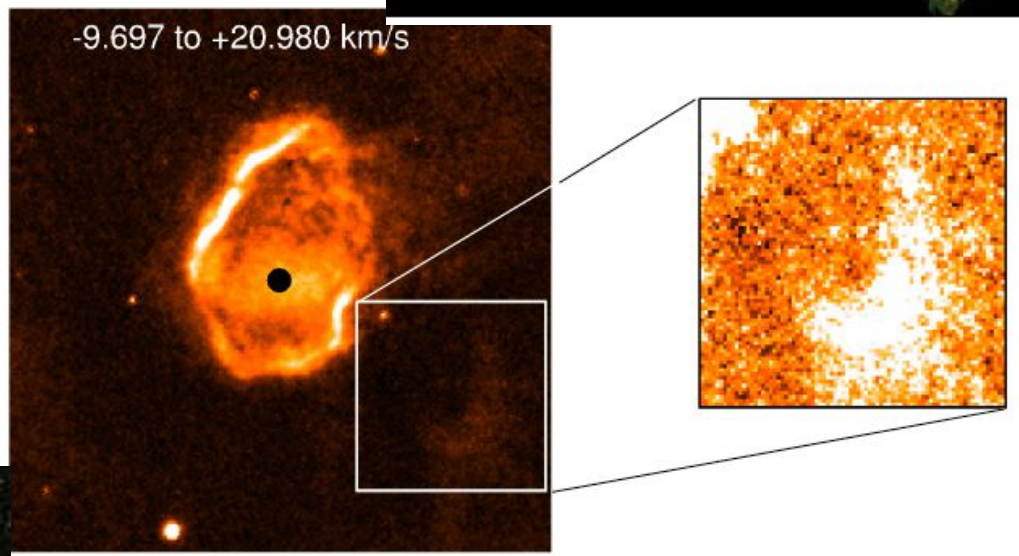
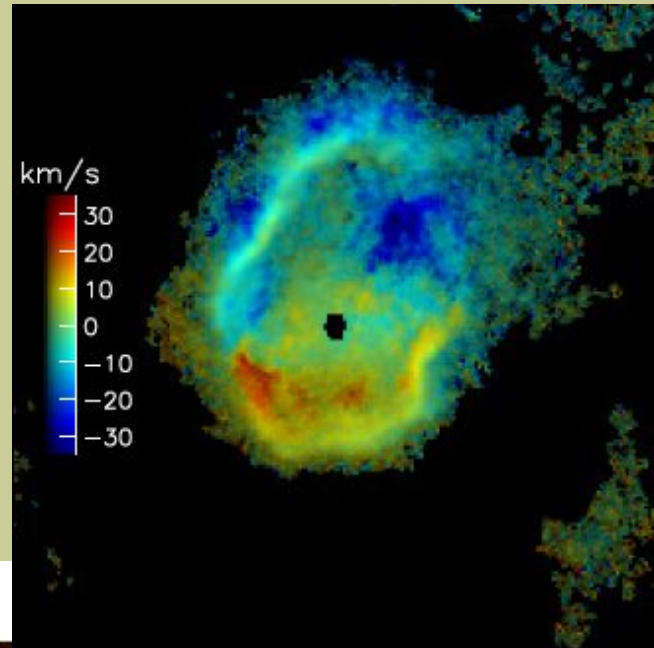
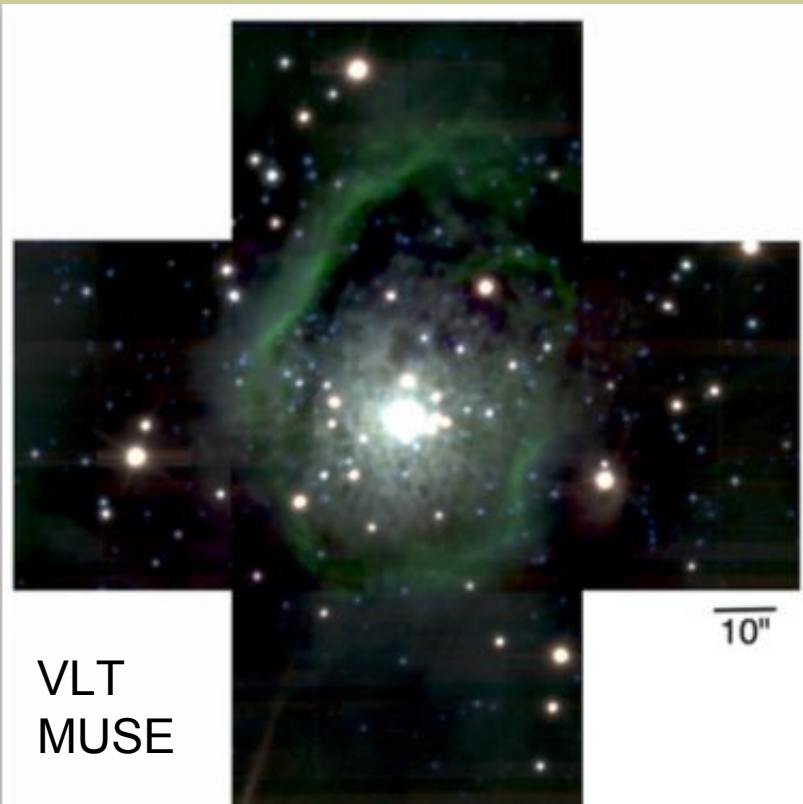


Velocity dispersion

0  40



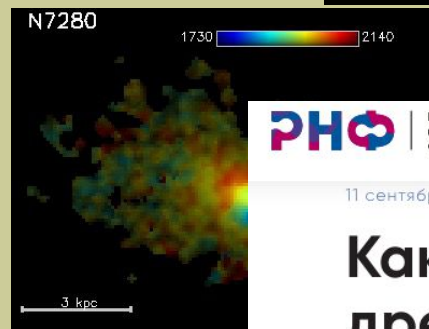
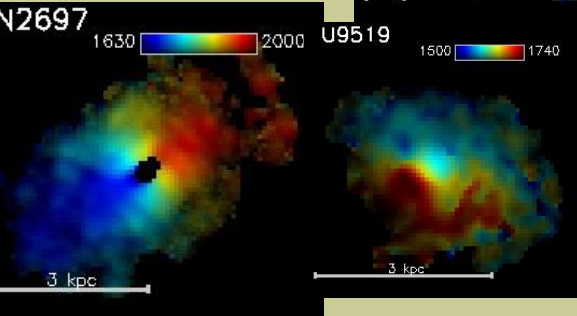
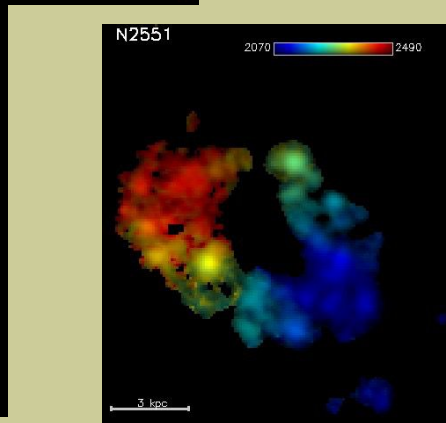
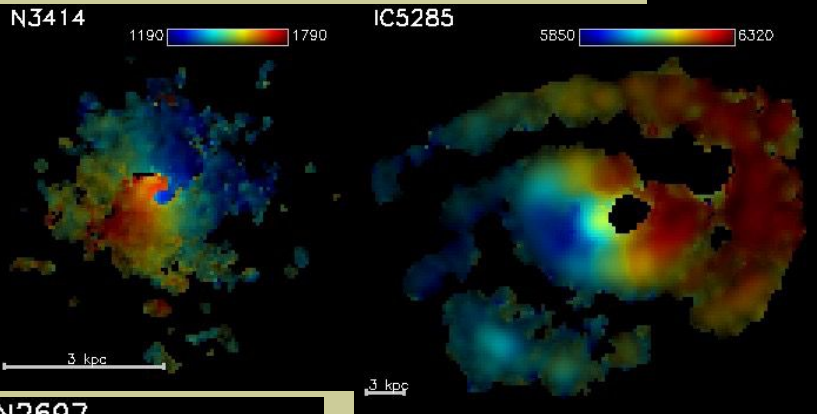
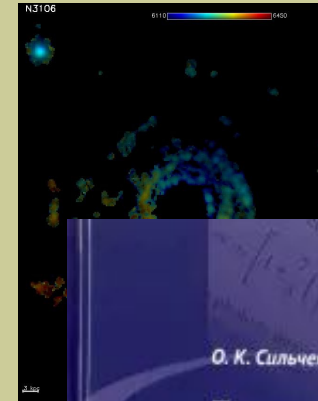
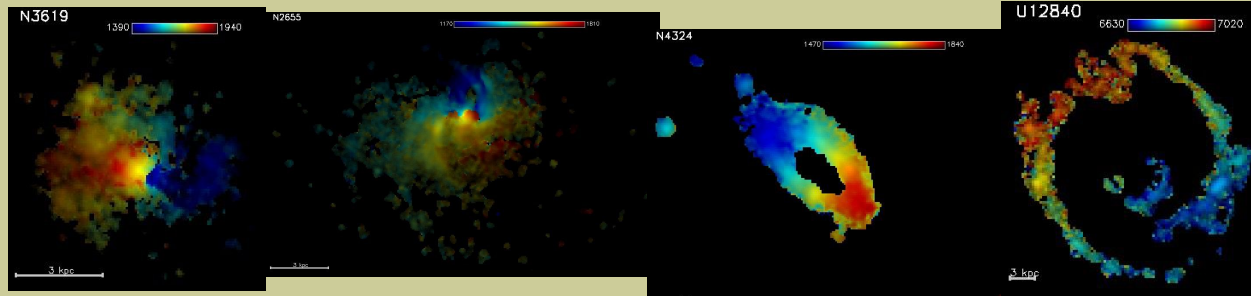
MWC 137 B[e]: MUSE vs SCORPIO-2



Kraus et al 2021

Ионизованный газ в линзовидных галактиках

Важен режим (геометрия) аккреции!



РНФ | Российский научный фонд

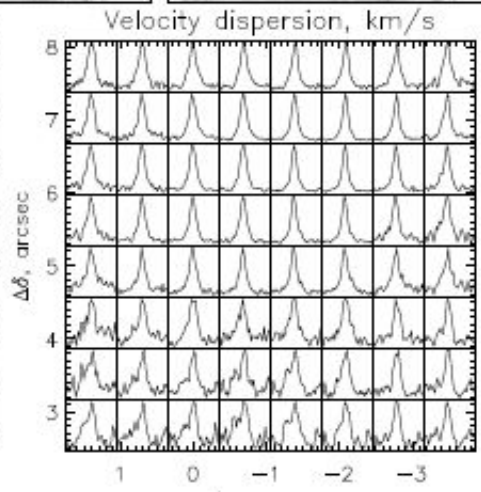
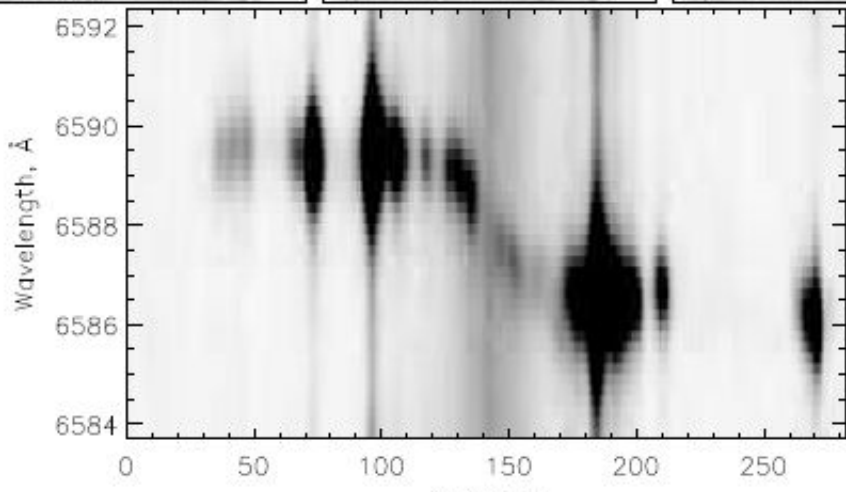
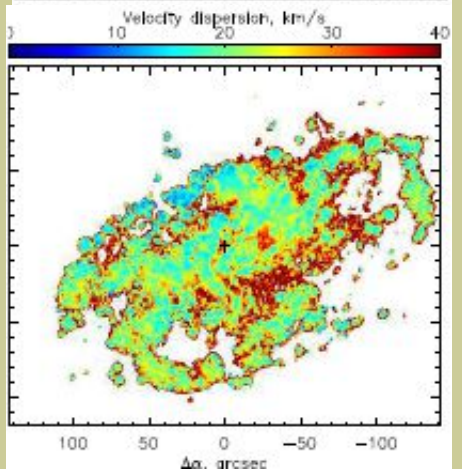
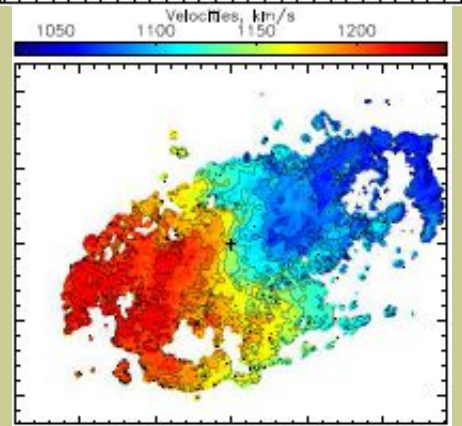
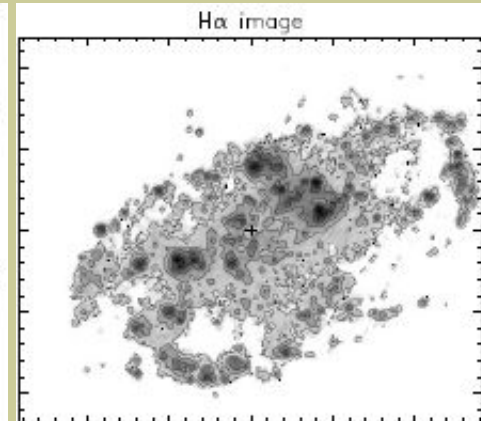
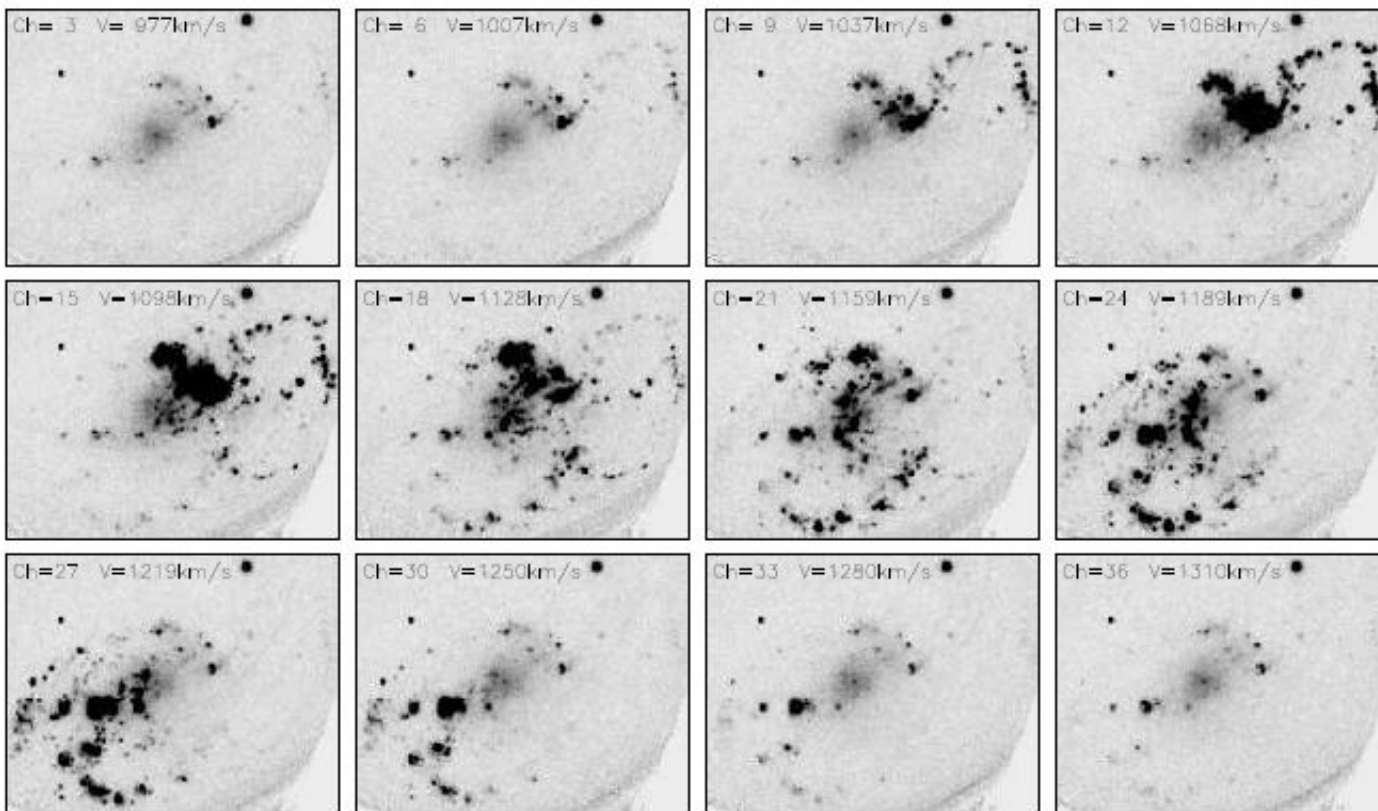
Конкурсы ▾ О Фонде ▾ Новости ▾ Документы

11 сентября, 2019 — 17:25

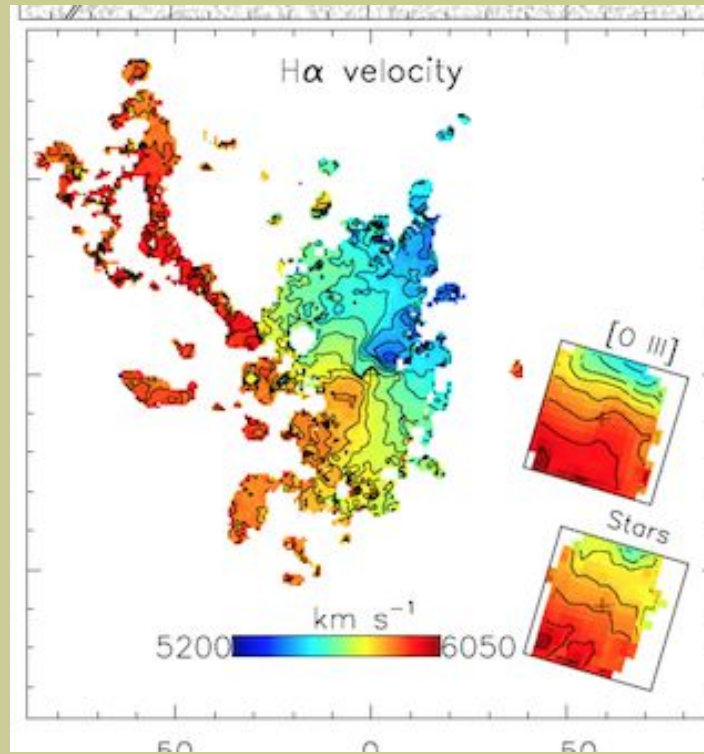
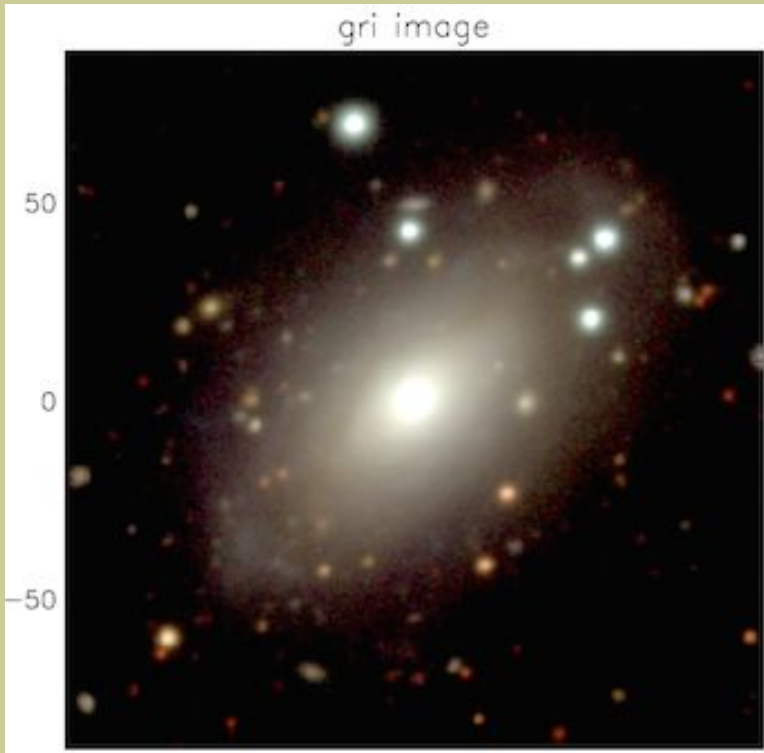
Как газ ляжет. Какие галактики древнее: линзовидные или спиральные?

Источник: [N+](#)

Sil'chenko, Moiseev & Egorov (2019)



Mrk 6: "подсветка" на 40 кпк



Smirnova et al (2018)

24 ОКТЯБРЯ 2018 В 15:02 АСТРОНОМИЯ ⌵ ⌶

Вокруг галактики Mrk 6 нашли гигантскую систему газовых облаков

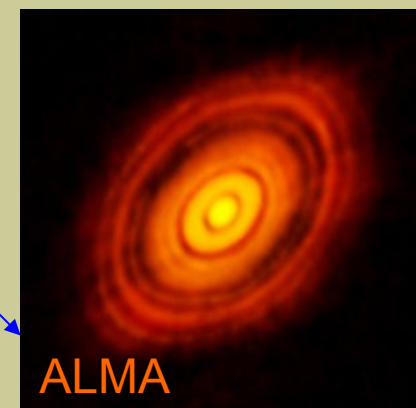
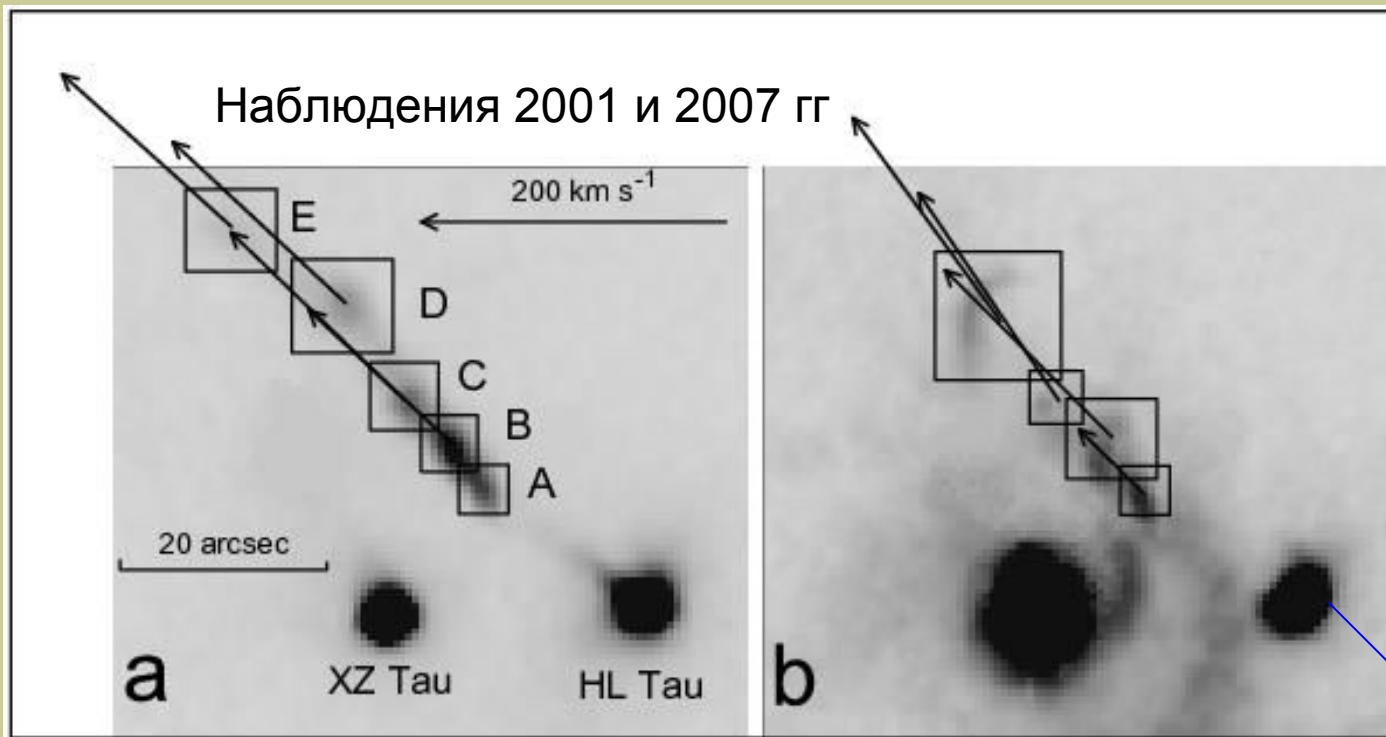
VK Facebook Instagram Twitter Telegram WhatsApp Обсудить 🗨

Струи из молодых звезд: собственные движения в 3D

Movsessian et al 2007-2019

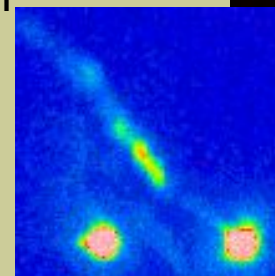


Т. Мовсесян



ALMA

Структуры с высокими и низкими лучевыми скоростями имеют одну тангенциальную скорость (160 км/с): Мы видим свечение выброшенных сгустков газа и ударную волну перед ними



См. “мултик” на сайте САО РАН (результаты 2007)

SAM-FP: SOAR Adaptive Module-Fabry-Perot

SOAR 4.1 m + AO (0.3" in r)

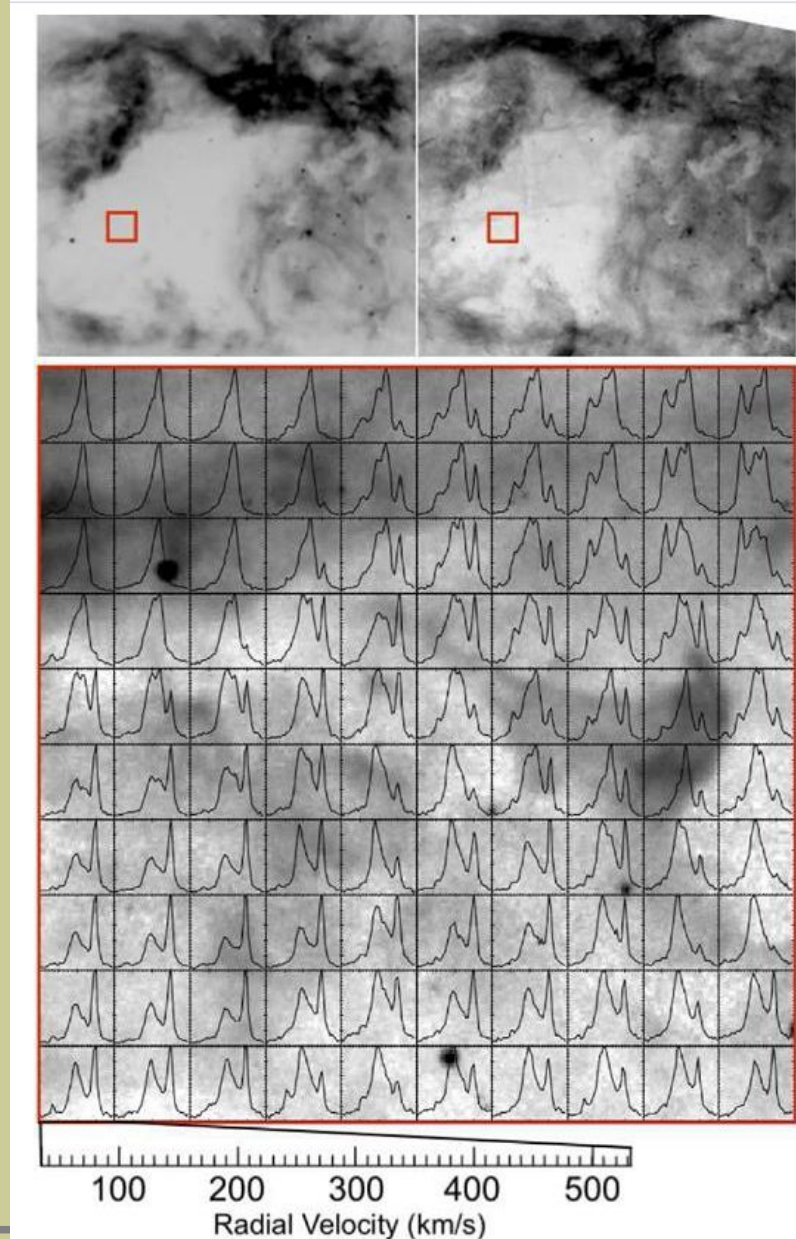
R: 11 200

FOV: 2x2 arcmin

0.18 "/px

Mendes de Oliveira et al 2017

30 Doradus



А что с абсорционными линиями?

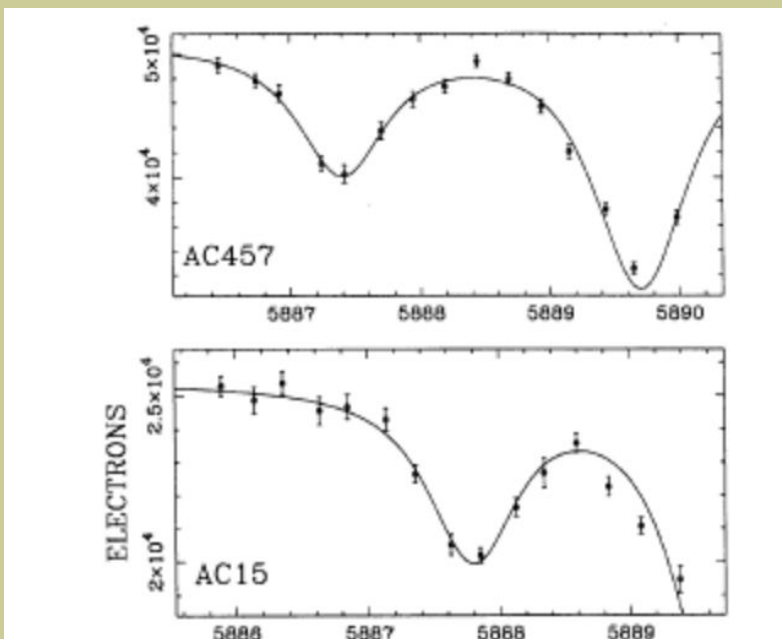
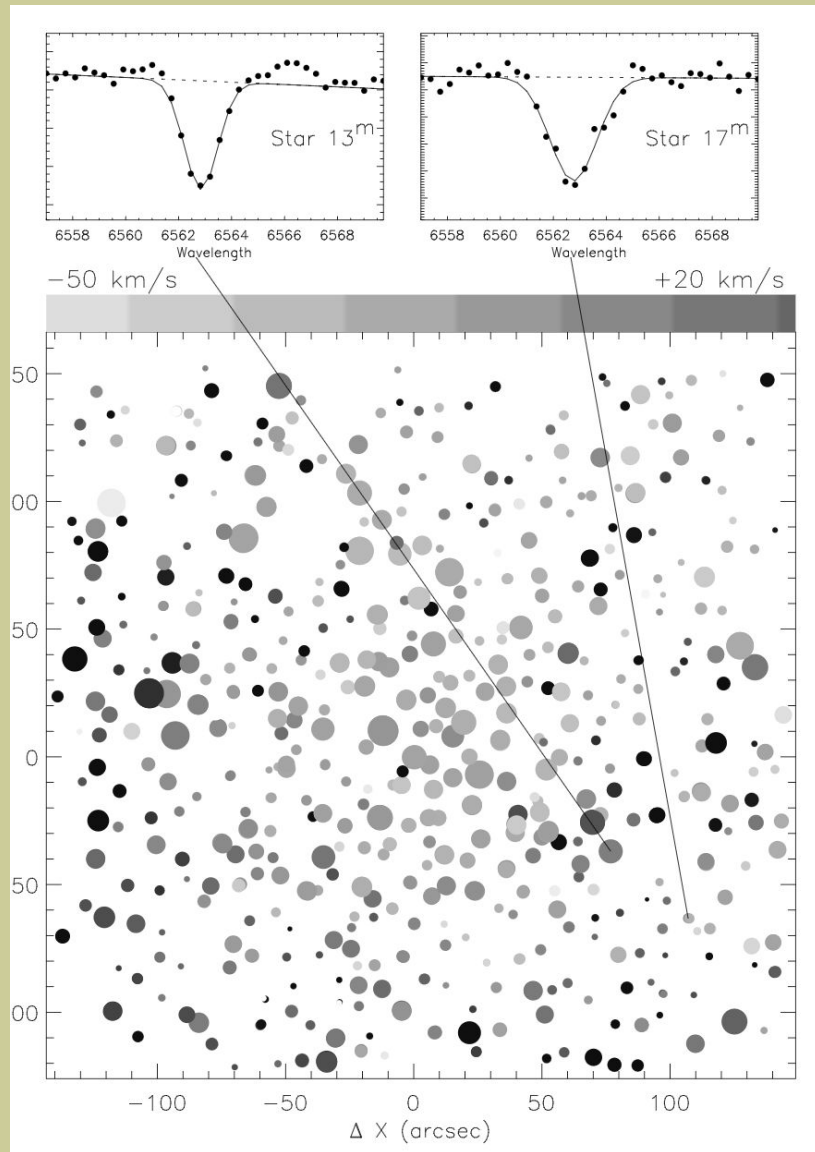
ASTRONOMICAL JOURNAL VOLUME 107, NUMBER 6 JUNE 1994

FABRY-PEROT MEASUREMENTS OF THE DYNAMICS OF GLOBULAR CLUSTER CORES: M15 (NGC 7078)

K. GEBHARDT,¹ C. PRYOR,¹ AND T. B. WILLIAMS¹

Department of Physics and Astronomy, Rutgers, The State University, Box 0849, Piscataway, New Jersey 08855-0849
Electronic mail: gebhardt@physics.rutgers.edu, pryor@physics.rutgers.edu, williams@physics.rutgers.edu

JAMES E. HESSER

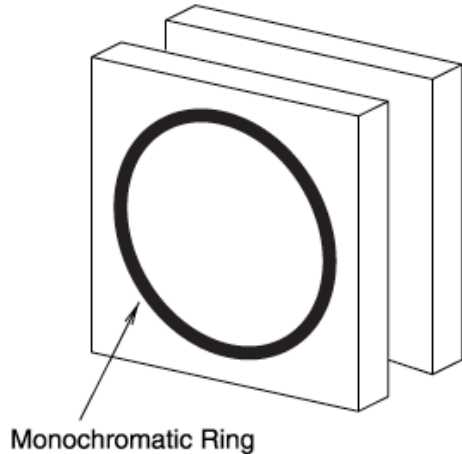


M71, точность $\delta v = 2-4$ км/с (Moiseev 2002)

Перестраиваемый фильтр (tunable filter)

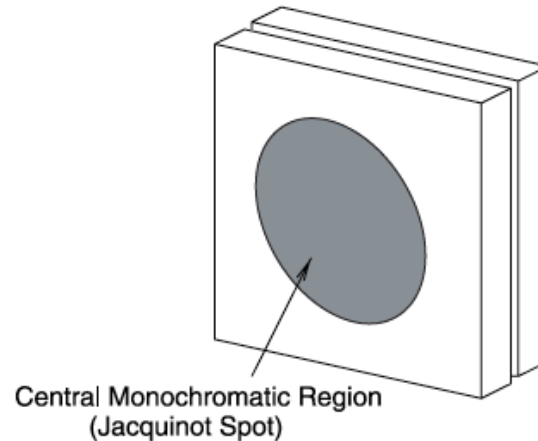
(a) High Order FabryPerot

(High Resolving Power; Small Tuning Range)

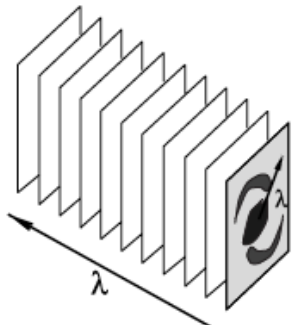


(b) Tunable Filter

(Low Resolving Power; Large Tuning Range)



(i) Stack of Images at High Spectral Resolution

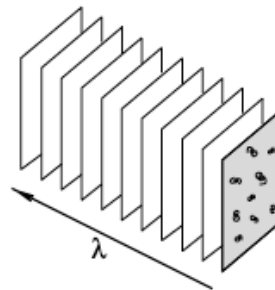


(ii) Single Image of a Diffuse Source



Single Spectrum Obtained by Binning Azimuthally About the Optical Axis

(iii) Stack of Monochromatic Images at Low Spectral Resolution



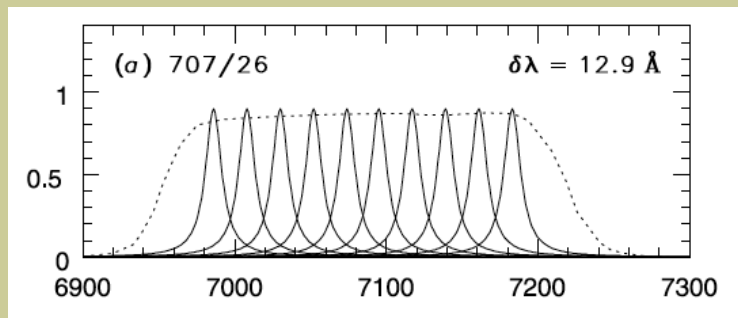
Низкие порядки интерференции

$N=30-50$

$\Delta\lambda = 150-300 \text{ \AA}$

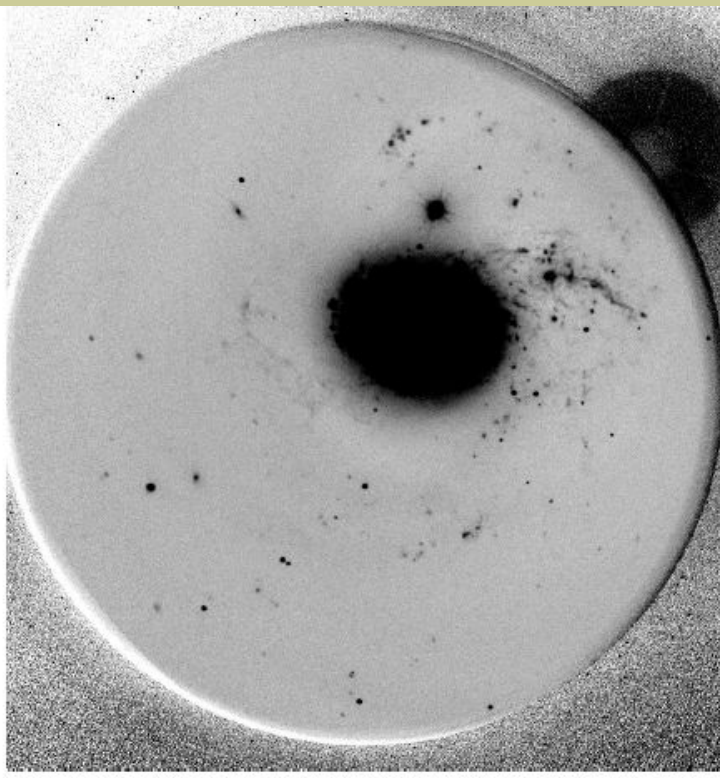
$\delta\lambda = 10-20 \text{ \AA}$

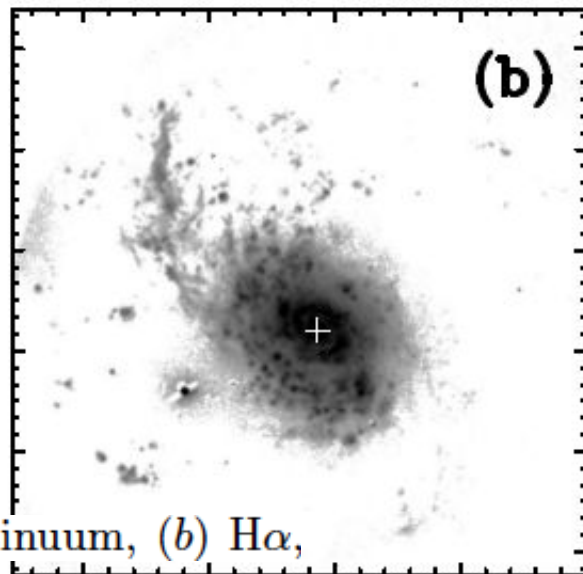
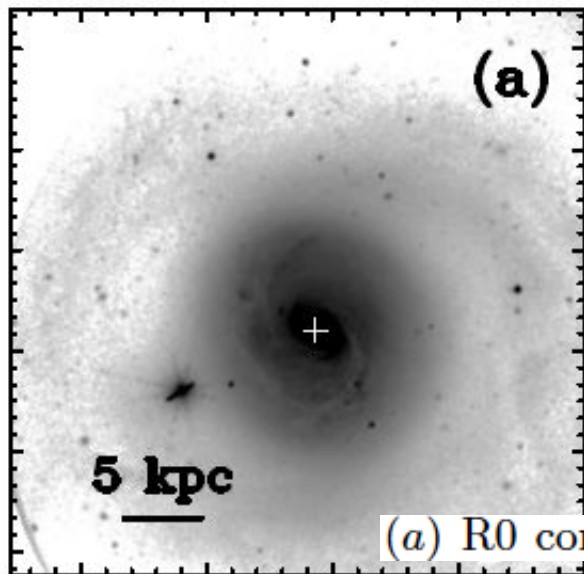
TAURUS Tunable Filter (3.9m AAT, 4.2m WHT)



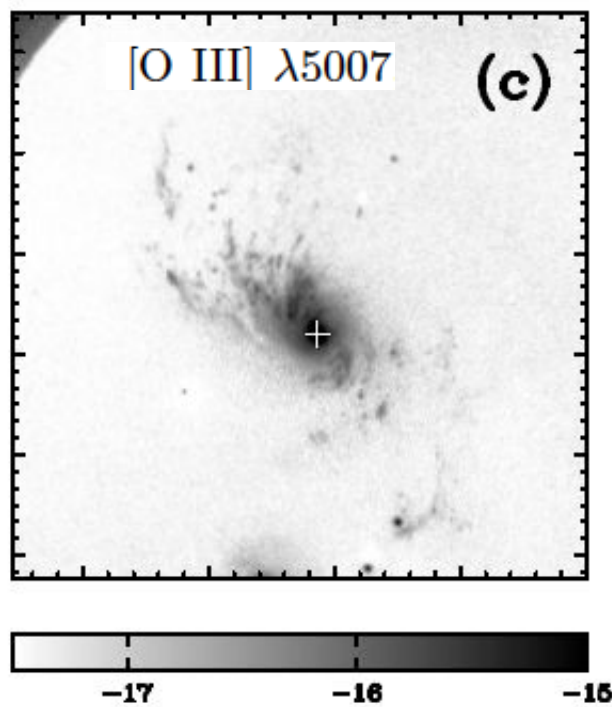
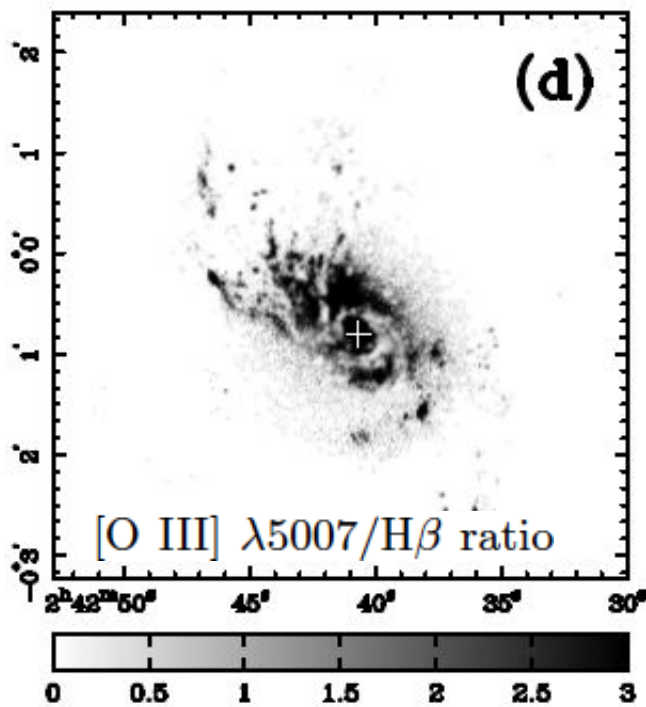
- Возможность аккуратно вычистить континуум
- разрешить линии Нальфа и [NII]6548,6583

Но длины волн меняются с радиусом:



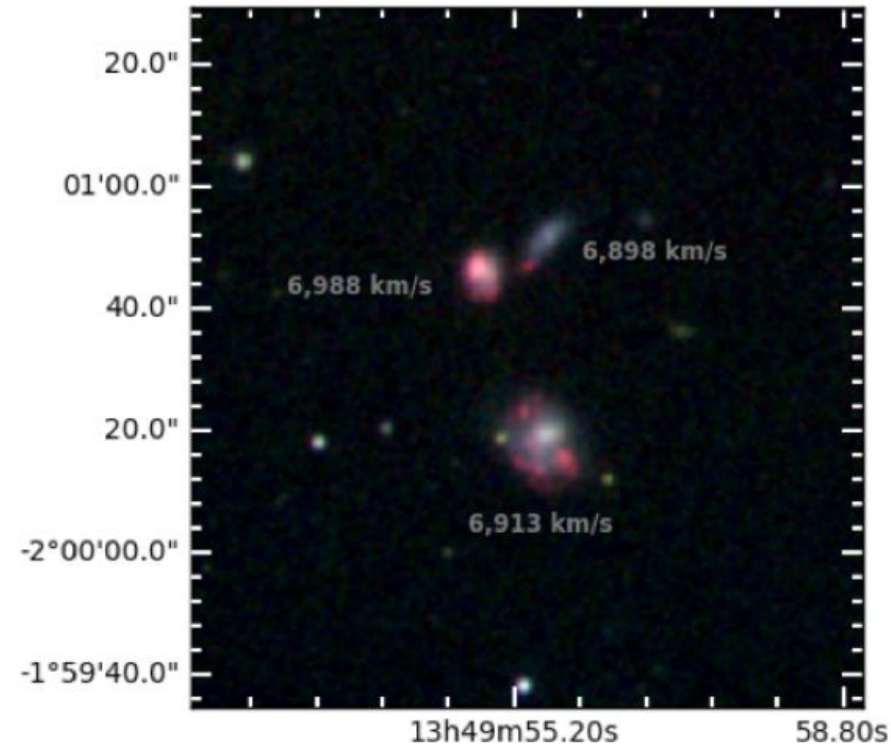
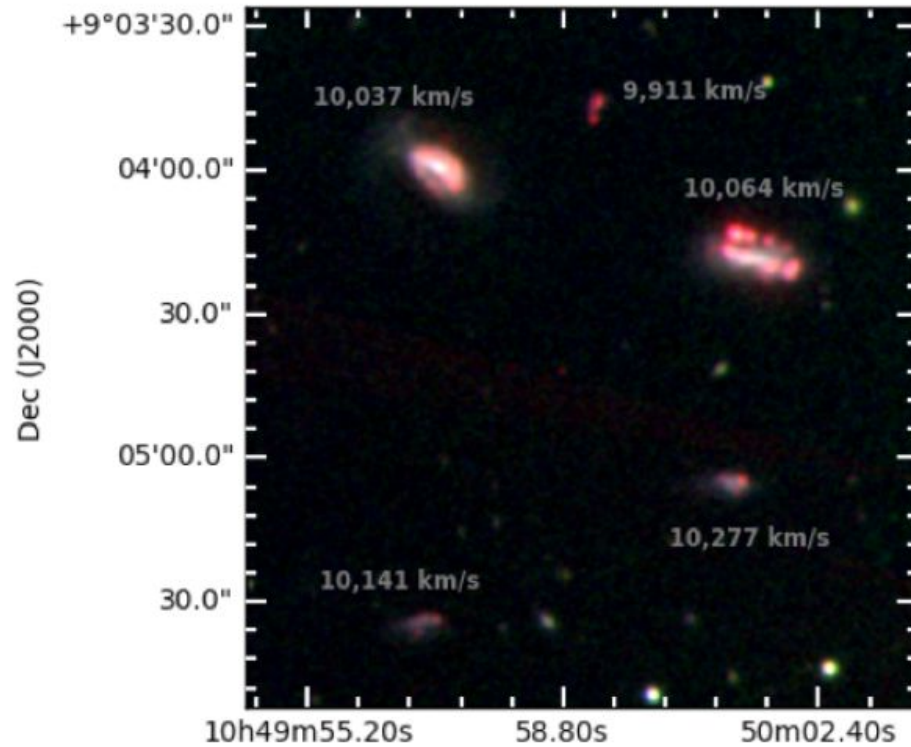


(a) R0 continuum, (b) H α ,



Veilleux 2005

MMTF: THE MARYLAND-MAGELLAN TUNABLE FILTER



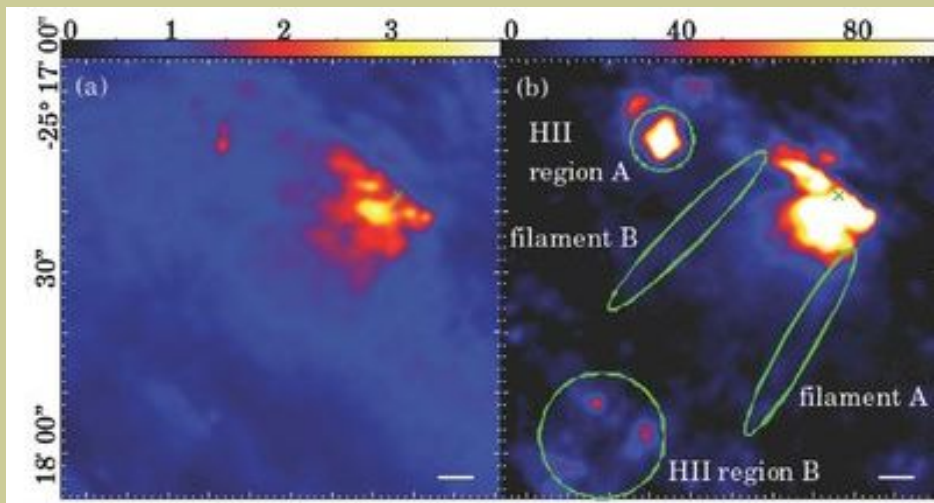
Veilleux+2010



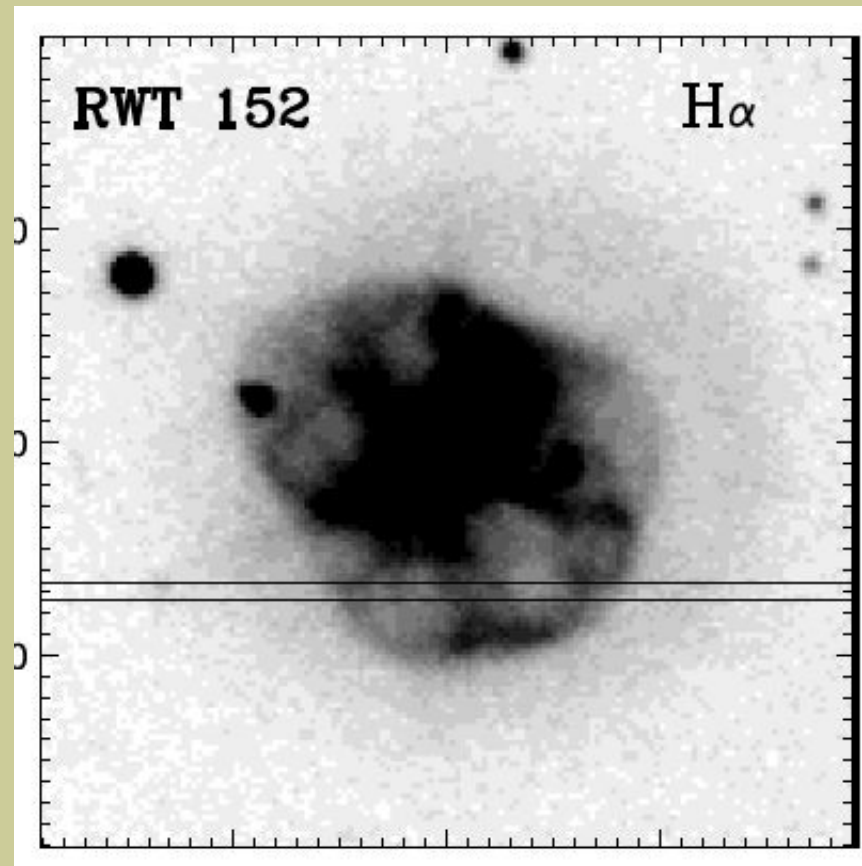
Stierwalt et al 2017

TF на больших телескопах

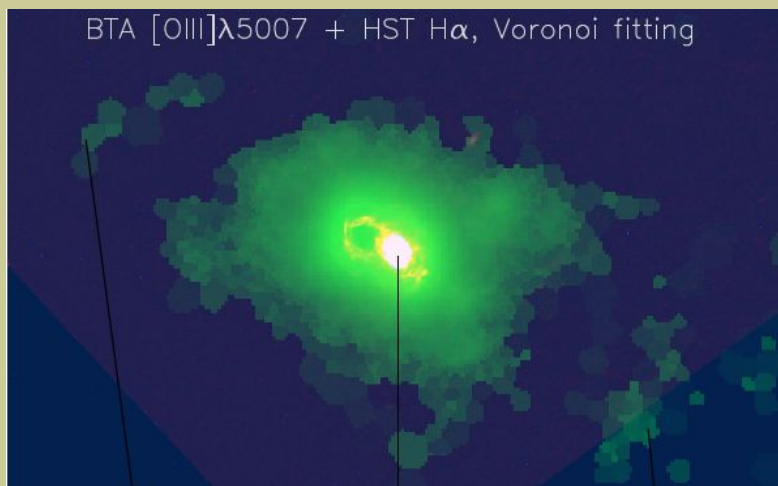
SUBARU (Matsubayashi + 09)



GTC/OSIRIS

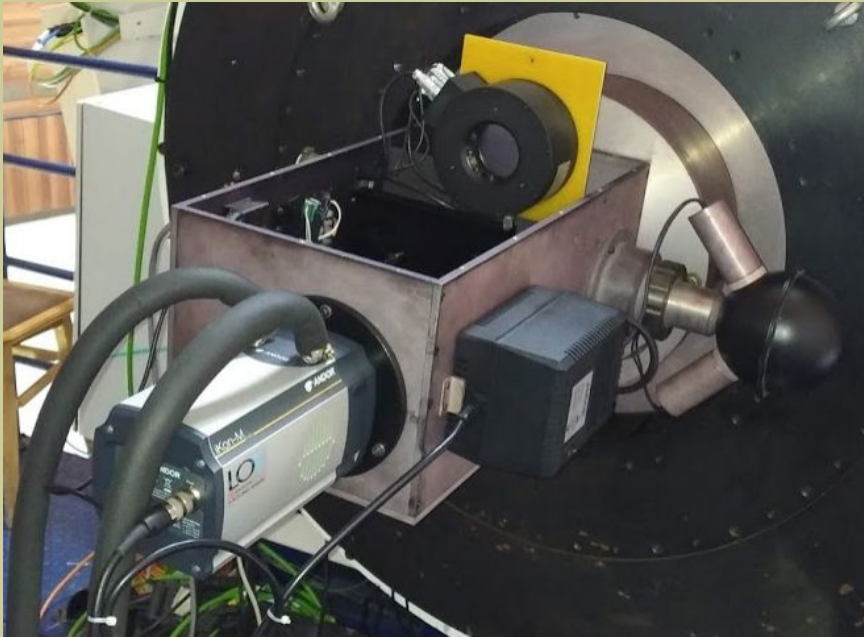


БТА (Moiseev & Ikhsanova, in prep)



(Aller + 16)

MaNGaL=Mapper of **N**arrow **G**alaxy **L**ines



ИФП ET-50 (IC Optical Systems Ltd) – УНУ БТА

Диапазон: 4600-7500 Å

FWHM:

$\delta\lambda = 10-16 \text{ \AA}$ (зазор ИФП = 5-14 μm)

Возможно управление шириной полосы

Moiseev et al. 2020 *Experimental Astronomy* (2020) 50:199–214



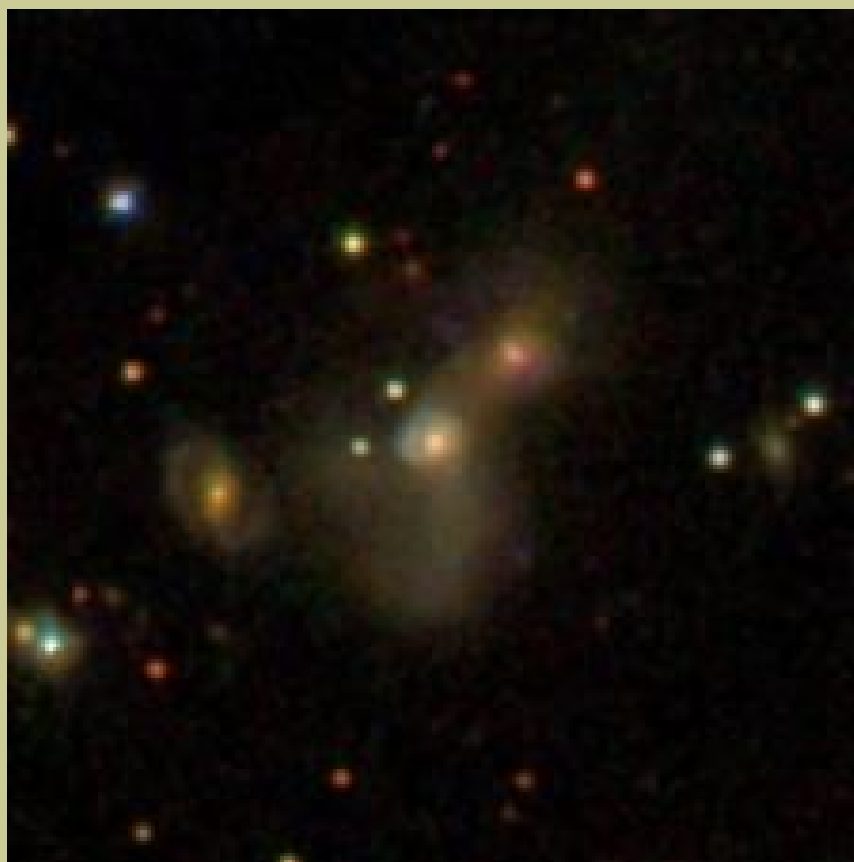
Цейсс-1000 САО РАН



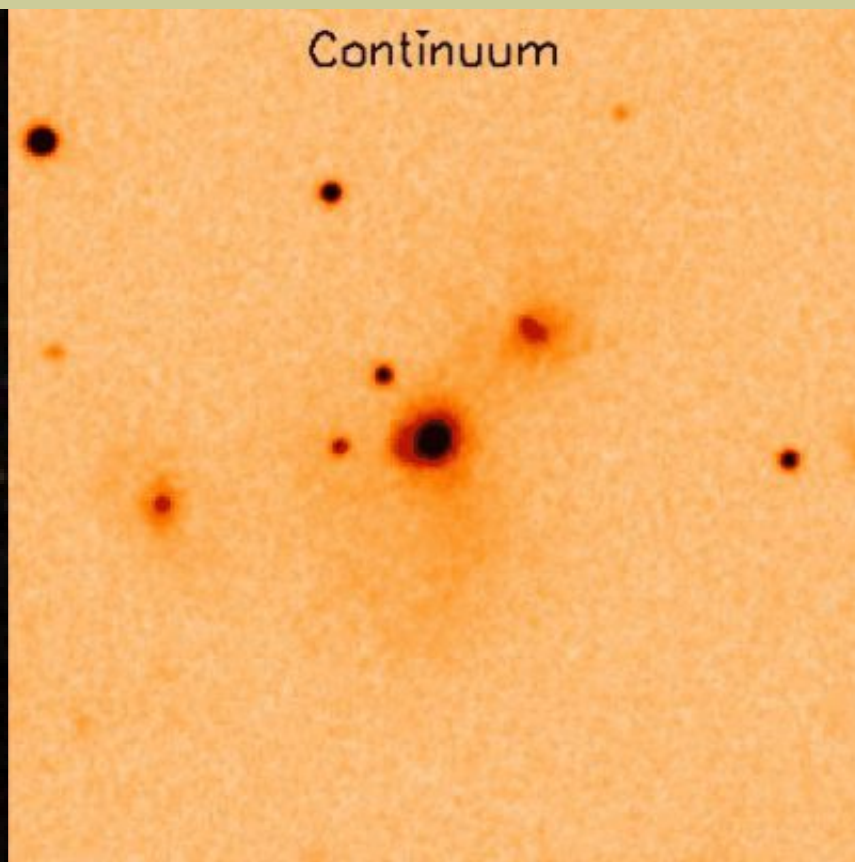
2.5-м ГАИШ КГО

Обнаружение новых облаков в линии [OIII]

2MASX J03251221+4042021



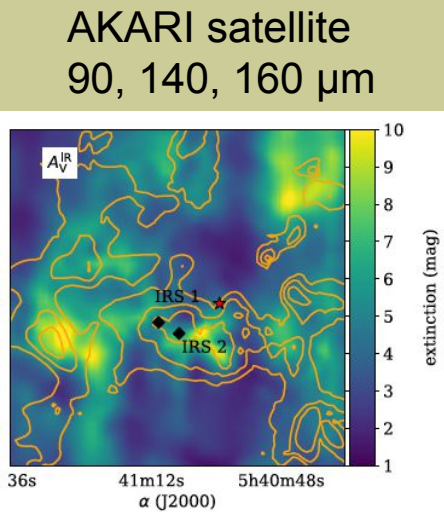
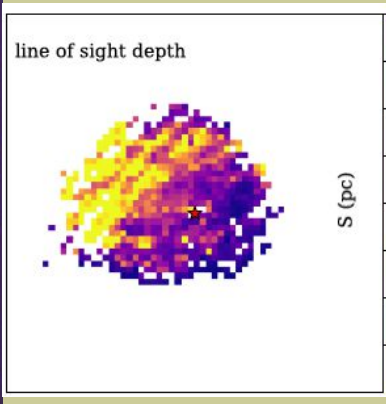
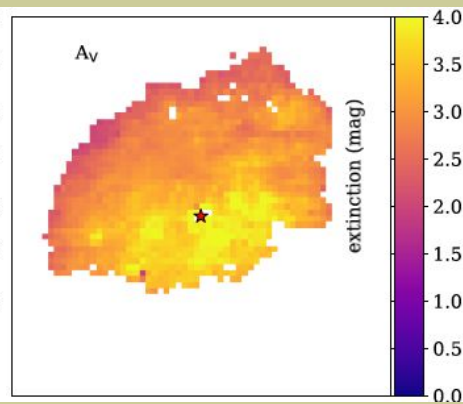
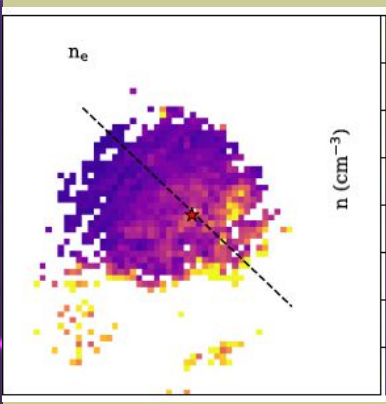
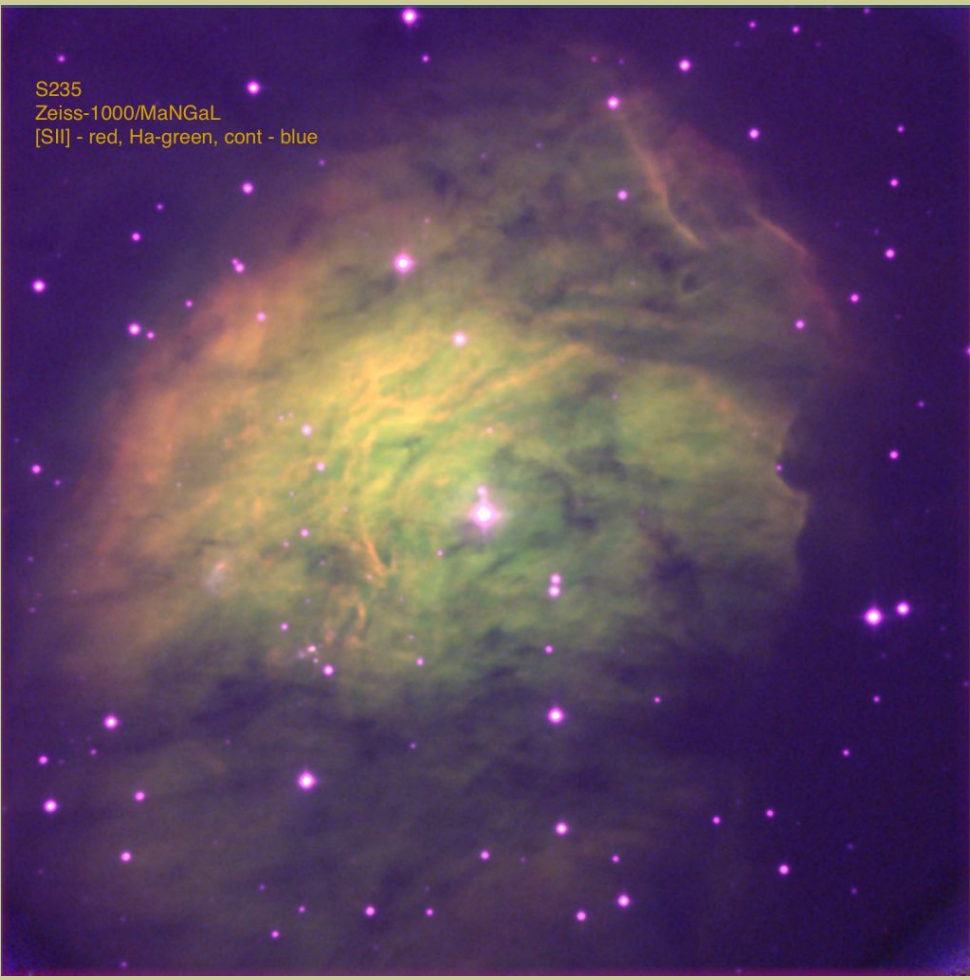
SDSS DR15



2.5-м КГО/MaNGaL

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

Трёхмерная структура Sh-S235 (Kirsanova + 2020)



$D = 1.6 \text{ kpc}$
 $d = 2.5 \text{ pc}$
star O9.5

Совместный анализ индикаторов поглощения:
 $A_V \text{ (optic)} + A_V \text{ (IR - dust SEDs)}$

=> дальняя стенка вокруг области HII плотнее, чем ближняя

Немного экзотики: акусто-оптический фильтр

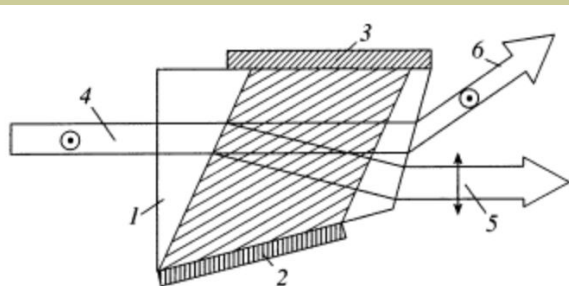


Fig. 1. The ray path in the AOF for linearly polarized incident light (see the text).

Acousto-optical material	Paratellurite
Type of acousto-optical interaction	Noncollinear wide-angle
Optical aperture	15 × 15 mm
Angular filter aperture	7°
Spectral range	6300–11 000 Å
Pass bandwidth (FWHM) at $\lambda 6365 \text{ Å}$	12 Å
Range of control frequencies	67–133 MHz
Control power at $\lambda 6365 \text{ Å}$	1.7 W
Efficiency for linear polarization	80%
Input resistance in the range of control frequencies	50 Ω
Spatial resolution	Less than 1''

718

MOLCHANOV *et al.*

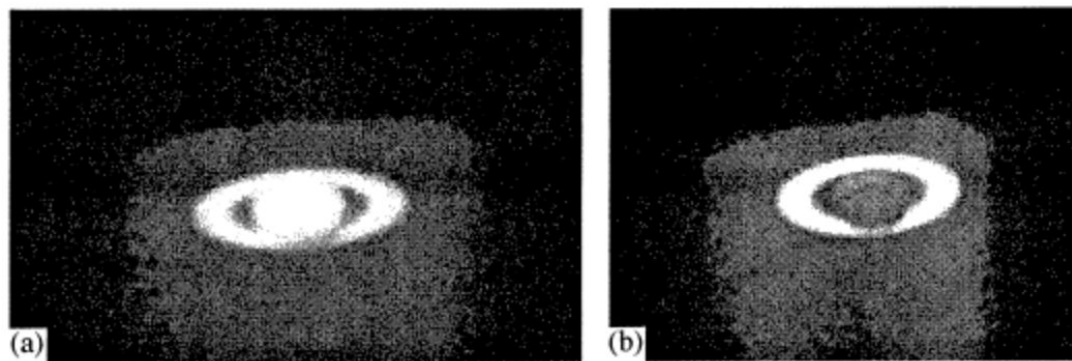
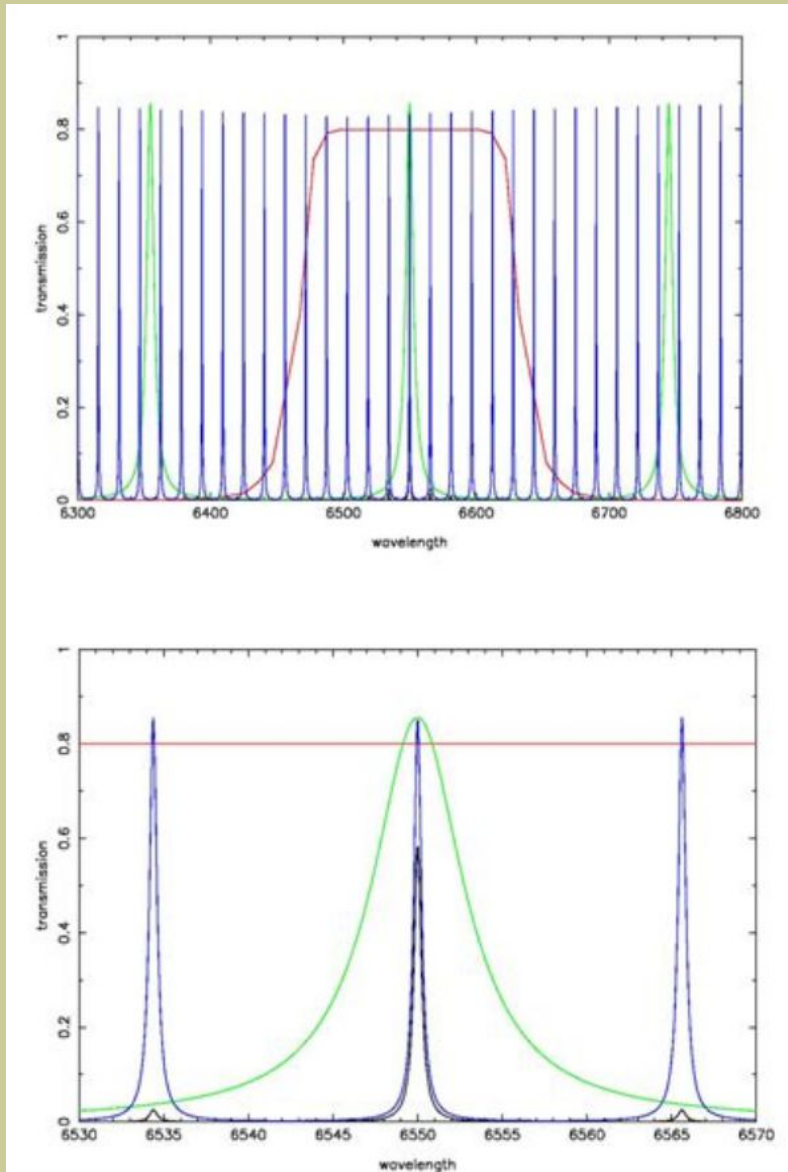


Fig. 6. Saturn's images at (a) $\lambda 8500$ and (b) $\lambda 8870 \text{ Å}$ obtained with the acousto-optical imaging spectrophotometer on September 15, 2001.

Немного экзотики: двойной Фабри-Перо



Комбинация интерферометров высокого и низкого разрешения позволяет обойтись без дополнительных фильтров.

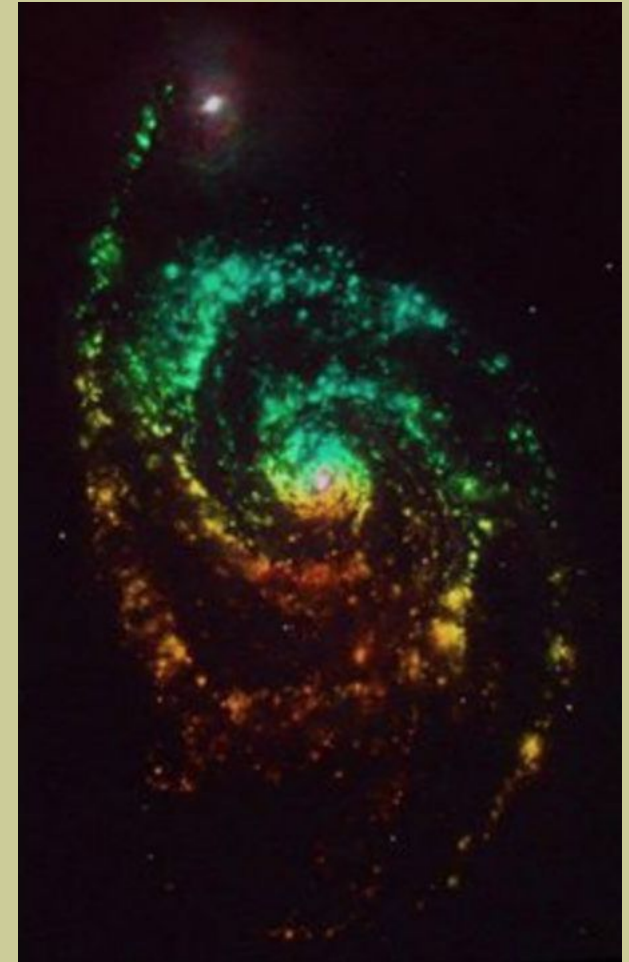
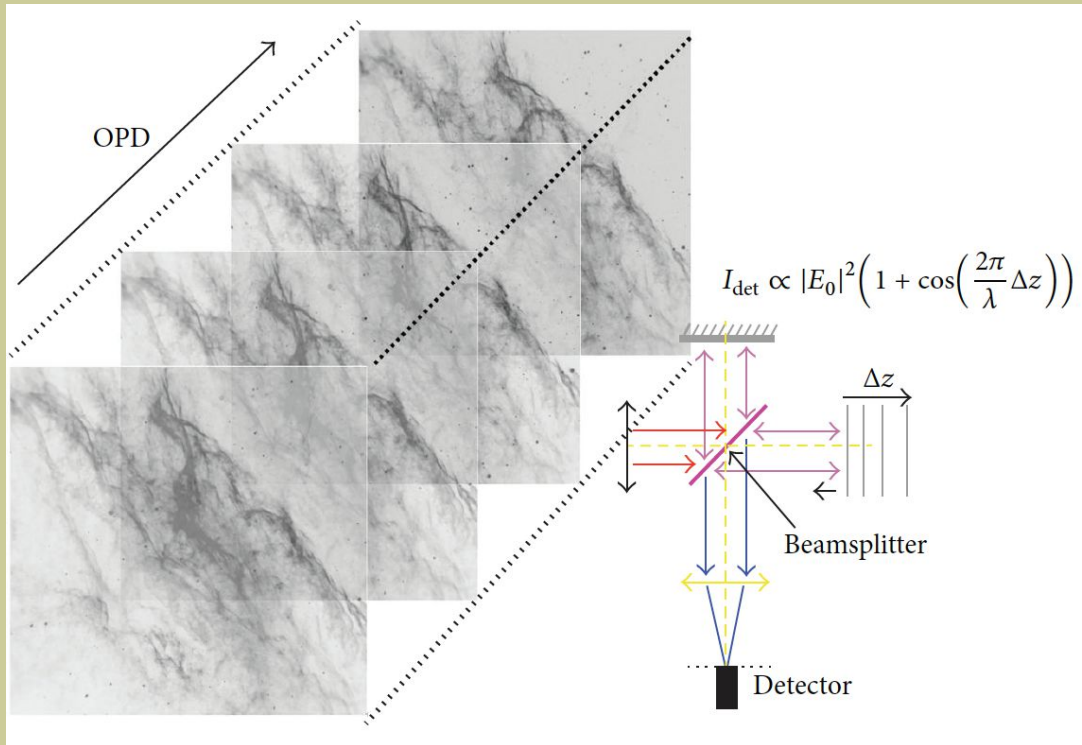
Система работает на ряде солнечных телескопов,

Но для слабых протяженных объектов проекты все еще не завершены:

SALT
3D-NTT

Немного экзотики: фурье-спектрограф

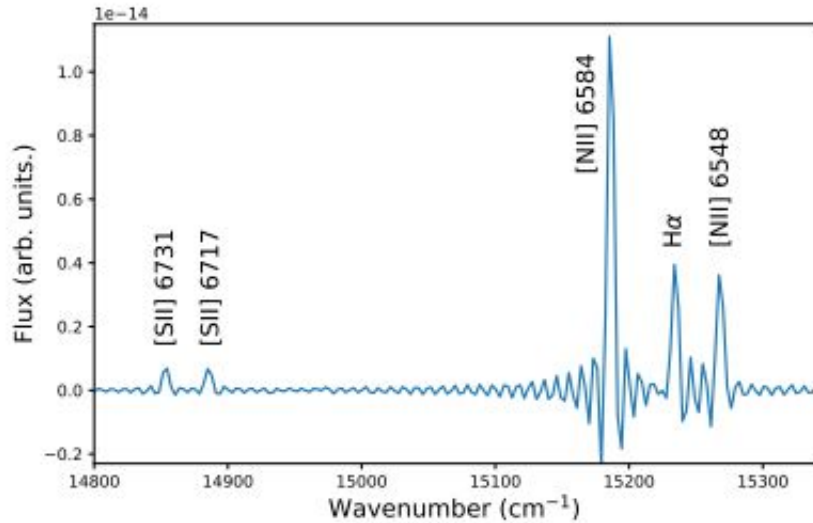
SITELLE = (Spectromètre Imageur à Transformée de Fourier pour l'Etude en Long et en Large de raies d'Emission)



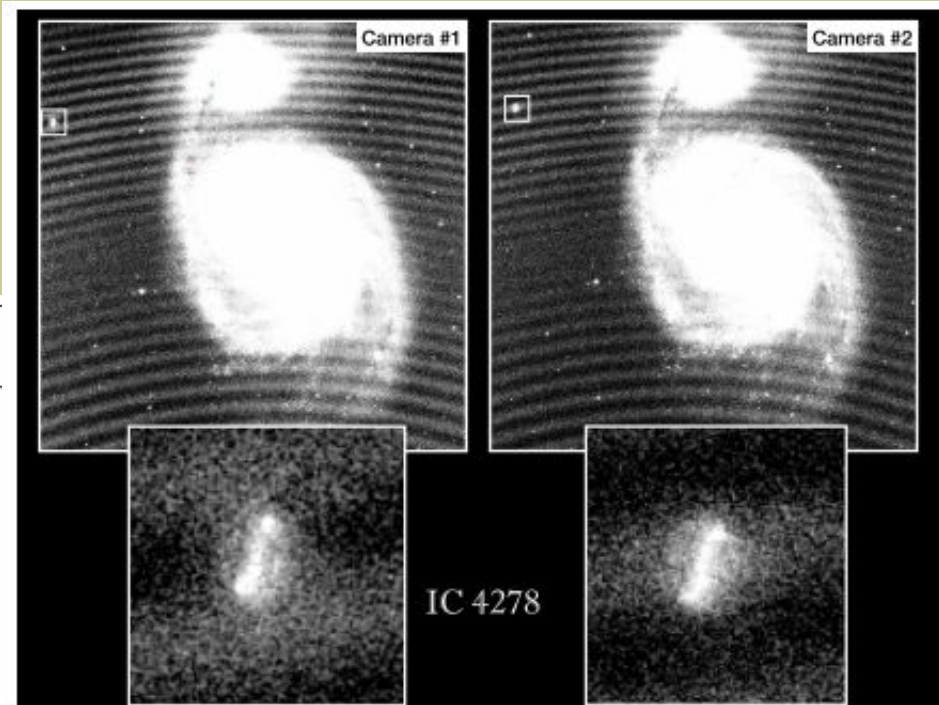
Drissen et al. 2014, 2017

SITELLE

Широкий спектральный диапазон, разрешение $R=600-9500$



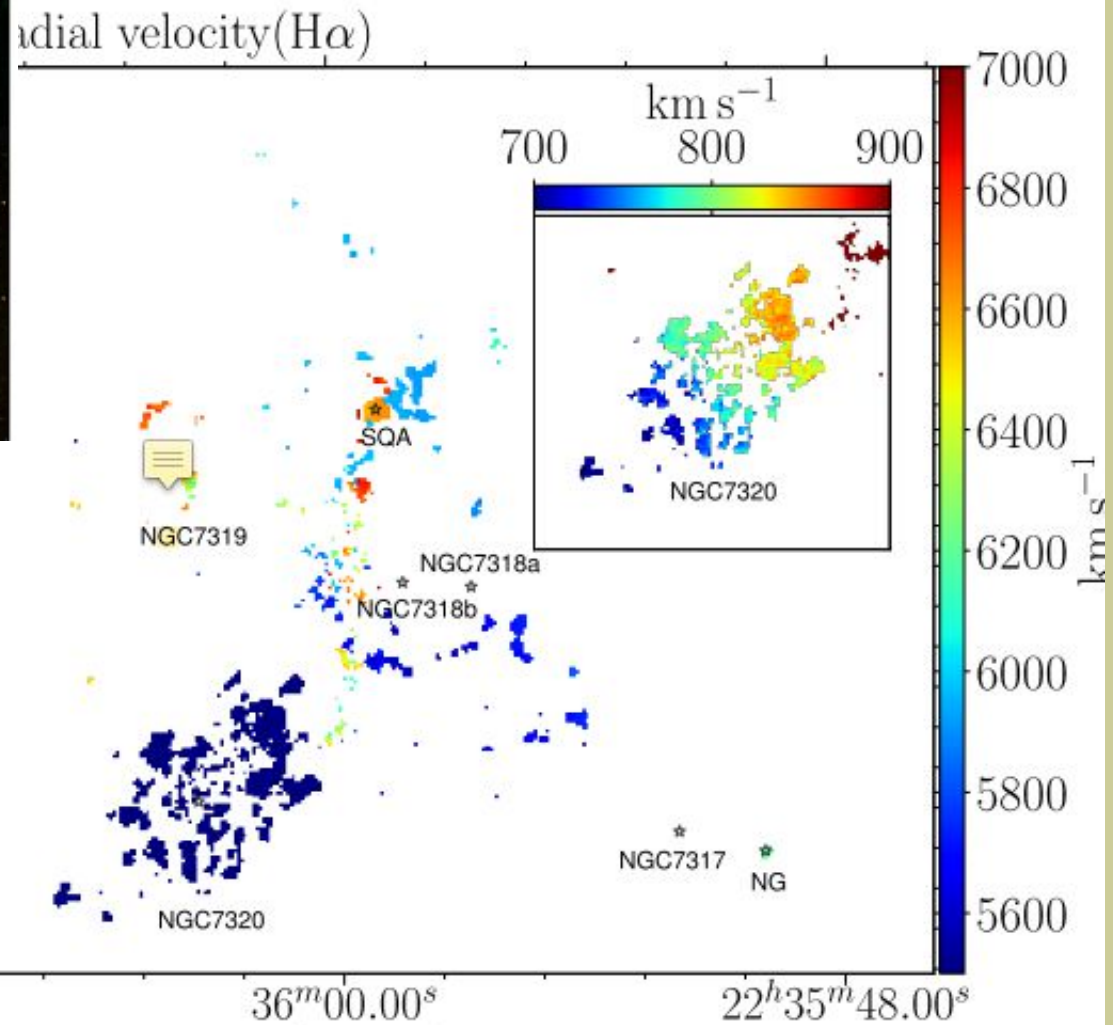
Field of View	$11' \times 11'$
Pixel size	$0.32''$
Detectors	2×2048^2 Deep depletion e2v



T > 90% range (nm)	Folding order	Step size (nm)	N_{1000}^*	Goals
363 - 386	8	1647	168	[O II] $\lambda 3727 < 10\,000 \text{ km s}^{-1}$
389 - 484	2	570	502	H δ , H γ , [O III] $\lambda 4363$, He II $\lambda 4686$, Ca H&K, 4000 Å break, [O II] $\lambda 3727 z = 0.046 - 0.29$
482 - 513	6	1680	216	H β , [O III] $\lambda 5007 < 7500 \text{ km s}^{-1}$
511 - 556	6	1778	215	Mg, Fe absorption [C III] $\lambda\lambda 5517, 5537$
559 - 625	5	1680	251	[N II] $\lambda 5755$, He I $\lambda 5876$, [O II] $\lambda 3727 z = 0.50 - 0.68$
647 - 685	8	2943	168	H α , [N II] $\lambda\lambda 6548, 6584$, [S II] $\lambda\lambda 6717, 6731 < 5400 \text{ km s}^{-1}$
796 - 826	12	5270	116	H $\alpha z \simeq 0.25$

Stephan's Quintet

Duarte Puertas et al 2019



1989: 10 систем

TABLE I. Imaging Fabry-Perot systems.

group/ instrument	study	λ	scan	detector	reference
Marseilles	galactic	visible	angle	photographic	1
Maryland	galactic	visible	pressure	image tube	2
Texas	galactic	visible	angle	image tube	3
TAURUS	galactic	400 – 900 nm	gap	photon counting	4
SPIFI	planetary	300 – 900 nm	gap/pressure	CCD	5
PEPSIOS	planetary	450 – 900 nm	pressure	CCD	6
CIGALE	galactic	visible	gap	photon counting	7
Rutgers	galactic	visible	pressure/gap	CCD	8
HIFI	galactic	400 – 750 nm	gap	CCD	
UKIRT	galactic	1 – 5 μ	gap	IRCAM	

2021: 8 систем (2 – не работают)

МОИСЕЕВ

Таблица 1. Системы со сканирующим ИФП на крупных и средних телескопах

Telescope/Device	FOV'	\mathcal{R}	Detector	References
10.4-m GTC/OSIRIS	8	400–800 ¹	CCD	González et al. (2014)
10-m SALT/RSS	8	1 500	CCD	Mitchell et al. (2015)
6.5-m Magellan/MMTF	27	400–1 000 ¹	CCD	Veilleux et al. (2010)
6-m BTA/SCORPIO-2	6.1	500 ¹ , 4 000, 16 000	CCD	Afanasiev and Moiseev (2011)
4.2-m WHT/GH α FaS	4.7	15 000	IPCS	Hernandez et al. (2008)
4.1-m SOAR/SAM-FP	3	11 000	CCD	Mendes de Oliveira et al. (2017)
2.5-m SAIMSU/MaNGaL	5.6	500 ¹	CCD	Moiseev et al. (2020)
2.1-m OAN/PUMA	10	16 000	CCD	Rosado et al. (1995)

¹ режим перестраиваемого фильтра

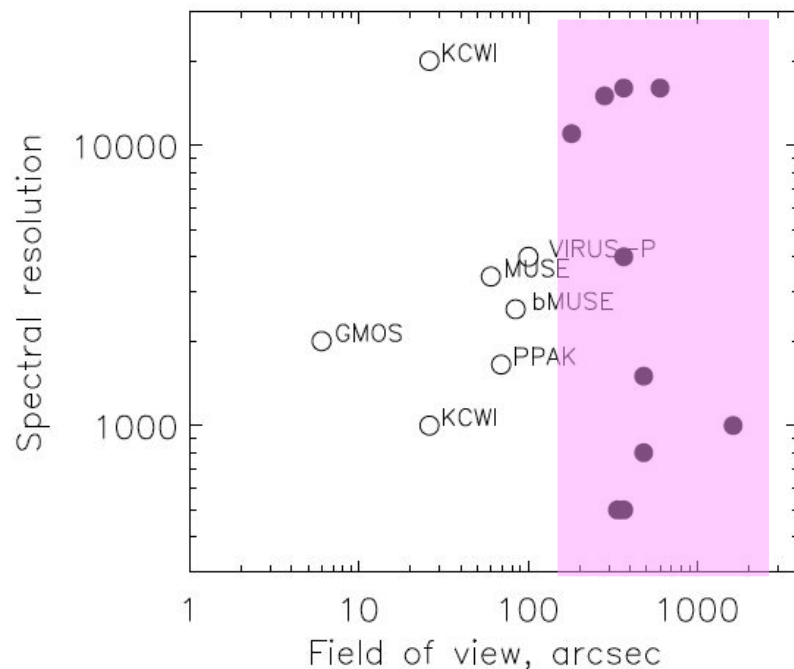


Рис. 9. Параметры приборов для 3D-спектроскопии на базе сканирующих ИФП (черные точки) и интегрально-полевых спектрографов (незаполненные кружки) на плоскости «FOV– \mathcal{R} ». Для KCWI показаны режимы высокого и низкого спектрального разрешения.

Но по сочетанию поле+сп.разрешение конкурентов нет!

УДК 520.872; 520-14(084.121); 520.84(084.121); 520.36

СКАНИРУЮЩИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ–ПЕРО НА 6-М ТЕЛЕСКОПЕ САО РАН

© 2021 А. В. Моисеев^{1*}

Experimental Astronomy (2020) 50:199–214

<https://doi.org/10.1007/s10686-020-09672-x>

ORIGINAL ARTICLE

**Mapper of Narrow Galaxy Lines (MaNGaL): new
tunable filter imager for Caucasian telescopes**



Alexei Moiseev^{1,2}  · Aleksander Perepelitsyn¹ · Dmitry Oparin¹

Обзоры этого года на youtube:

"Сканирующий интерферометр Фабри-Перо на БТА: история и современность"
«Аккреция газа на галактики», ВАК-2021

Зачет по курсу

Презентация 5-10 слайдов, включающая:

- принцип действия прибора, основные параметры, выходные данные
- любой полученный на нём наблюдательный результат (не рассмотренный на лекциях)

- 1) PMAS (Roth M. et al. 2005)
- 2) PMAS/PPAK (Kelz A. et al. 2006)
- 3) SAMI (Croom S. et al. 2012)
- 4) MaNGA (Bundy K. et al. 2015)
- 5) SINFONI (Eisenhauer F. et al. 2015)
- 6) VIMOS/IFU (Bonneville C. et al. 2003)
- 7) MUSE (Bacon R. et al. 2010)
- 8) GMOS (Allington-Smith et al 2002)
- 9) KCWI (Morrissey et al. 2018)