



# Кольца звездообразования в S0-галактиках

Прошина И.С., Князев А.Ю., Сильченко О.К.  
ГАИШ МГУ

Современная звёздная астрономия -2019  
САО РАН, Нижний Архыз  
09 октября 2019 г.

# Наблюдательные данные

- Галактики наблюдались на спектрографе с длинной щелью RSS 11-метрового телескопа Южно-Африканской обсерватории, SALT в период с 2011 по 2013 гг.

Щель 1,25", голографическая решётка 900 штрихов/мм, спектральное разрешение 5,5 Å, спектральный диапазон от 3750 Å до 6850 Å.

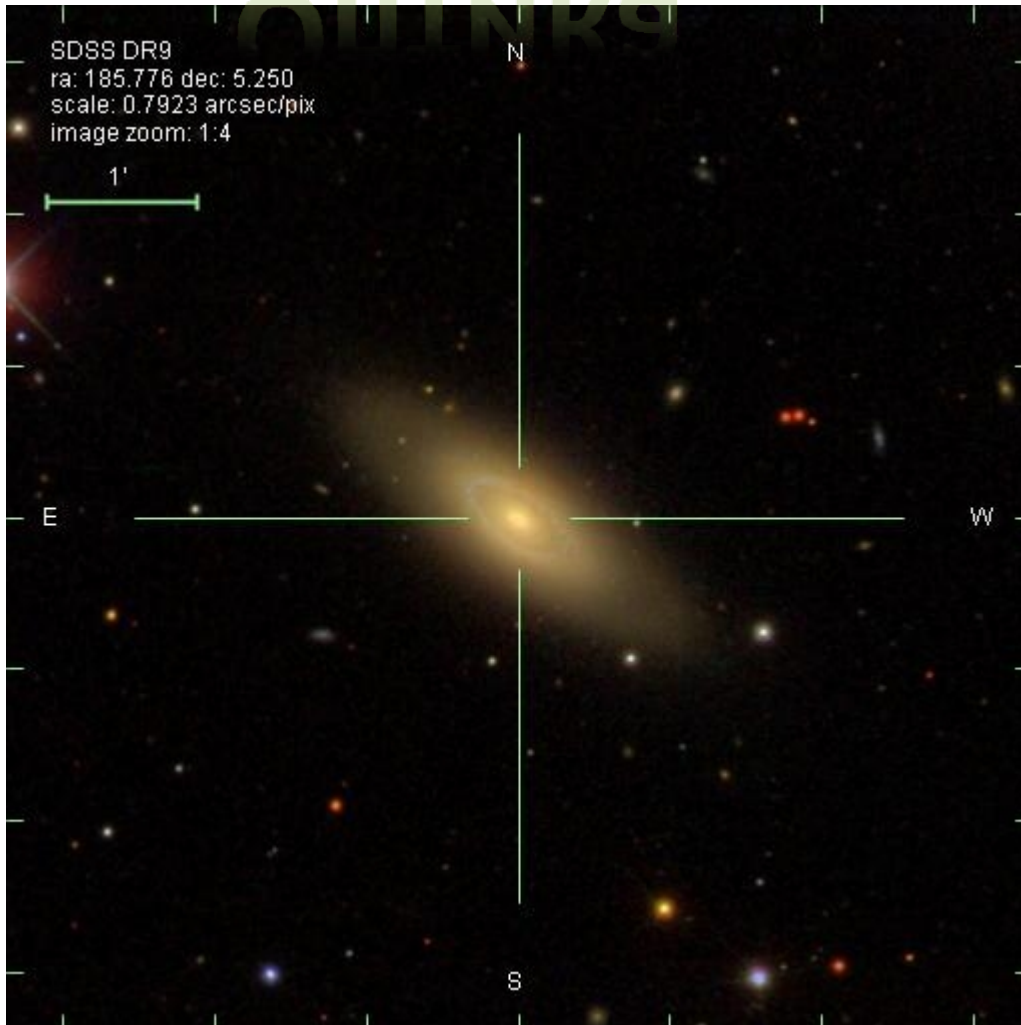
- Оптические изображения SDSS и LCOGT (специально отснятое для галактики NGC2697) использованы для построения профилей поверхностной яркости.
- Из архива MAST для исследуемых галактик взяты доступные изображения GALEX в FUV (1539 Å) и NUV (2316 Å) диапазонах.
- Используются изображения WISE в полосе W4 (22 мкм) для учёта поглощения пыли в исследуемых галактиках.

Галактика	Тип (HyperLeda)	Наличие кольца (HyperLeda)	Наклон i (NED)	$M_B$ , mag (HyperLeda)	$v_{sys}$ , км/с (NED)	z	Шка- ла, кпк/''	Окружение (HyperLeda, NED)
<b>NGC 4324</b>	S0-a	Ring	64,6°	-19,75	1665	0,0056	0,105	Галактика из группы NGC4303 (23 объекта)
<b>NGC 2697</b>	S0-a	-	52,3°	-18,67	1824	0,0061	0,110	Галактика из группы NGC2698 (8 объектов)
<b>NGC 7808</b>	S0	-	8,2°	-21,39	8787	0,0293	0,588	Галактика из группы MR18_02412 (5 объектов)
<b>PGC 48114</b>	S0	Ring	16,6°	-19,73	6984	0,0233	0,462	В паре с галактикой на 1,5 зв.величины слабее в 160 кпк от неё
<b>NGC 809</b>	S0	-	36,2°	-20,03	5367	0,0179	0,357	Изолированная галактика (ближайшая галактика на расстоянии 670 кпк)

# NGC 4324

Оптика

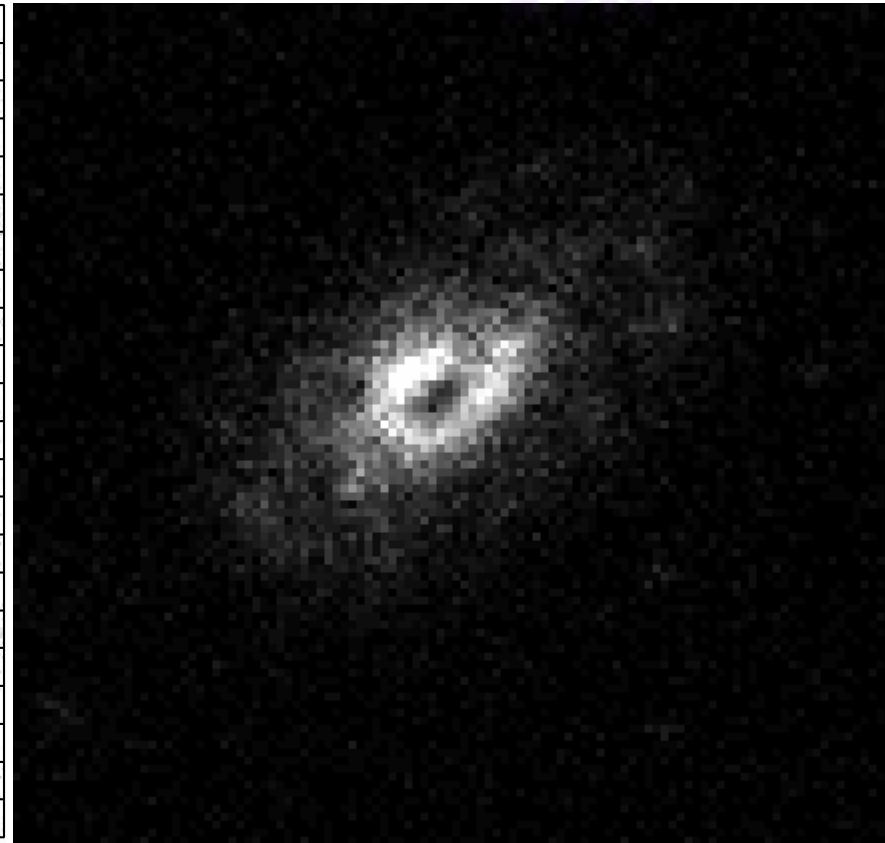
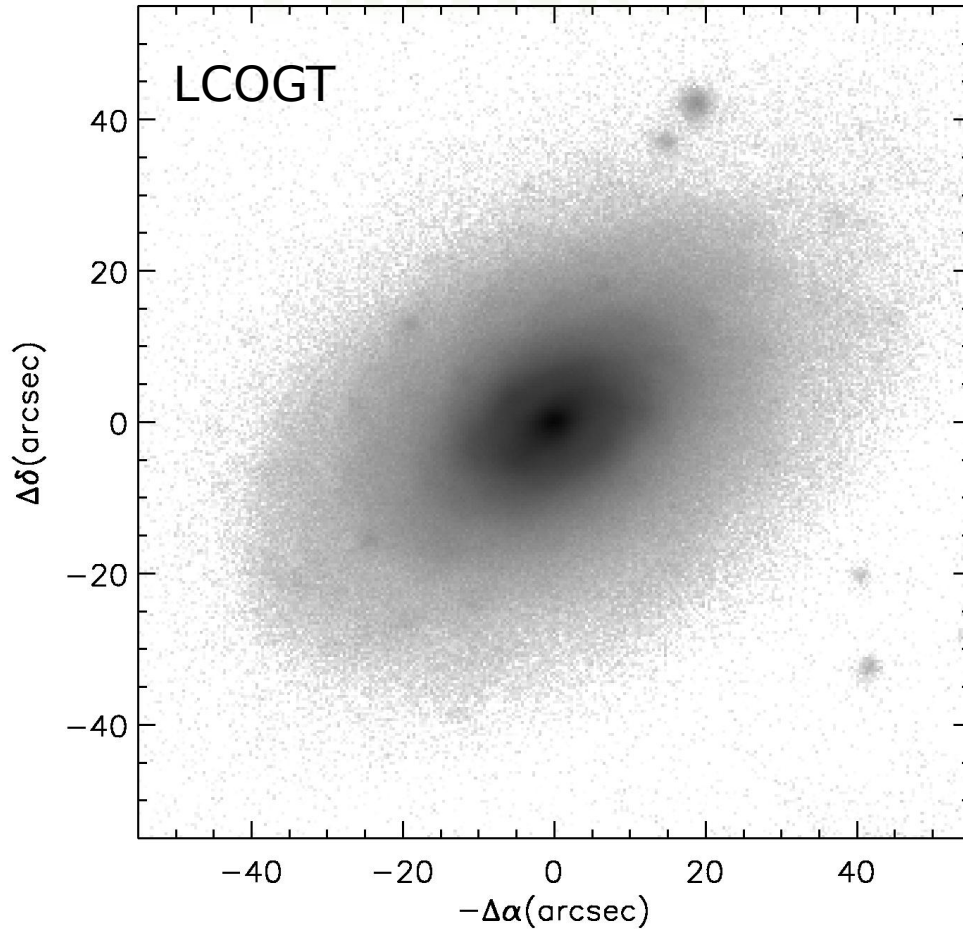
УФ



# NGC 2697

Оптика

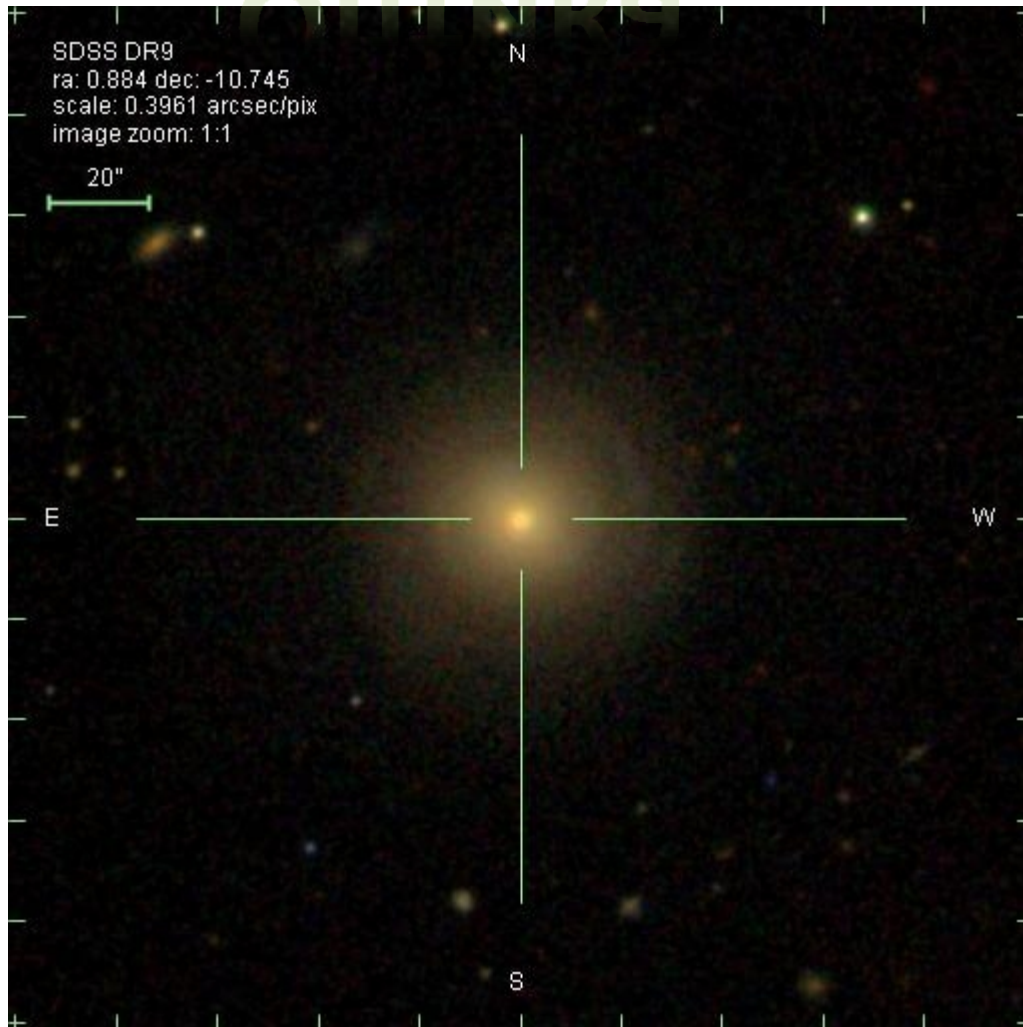
УФ



# NGC 7808

Оптика

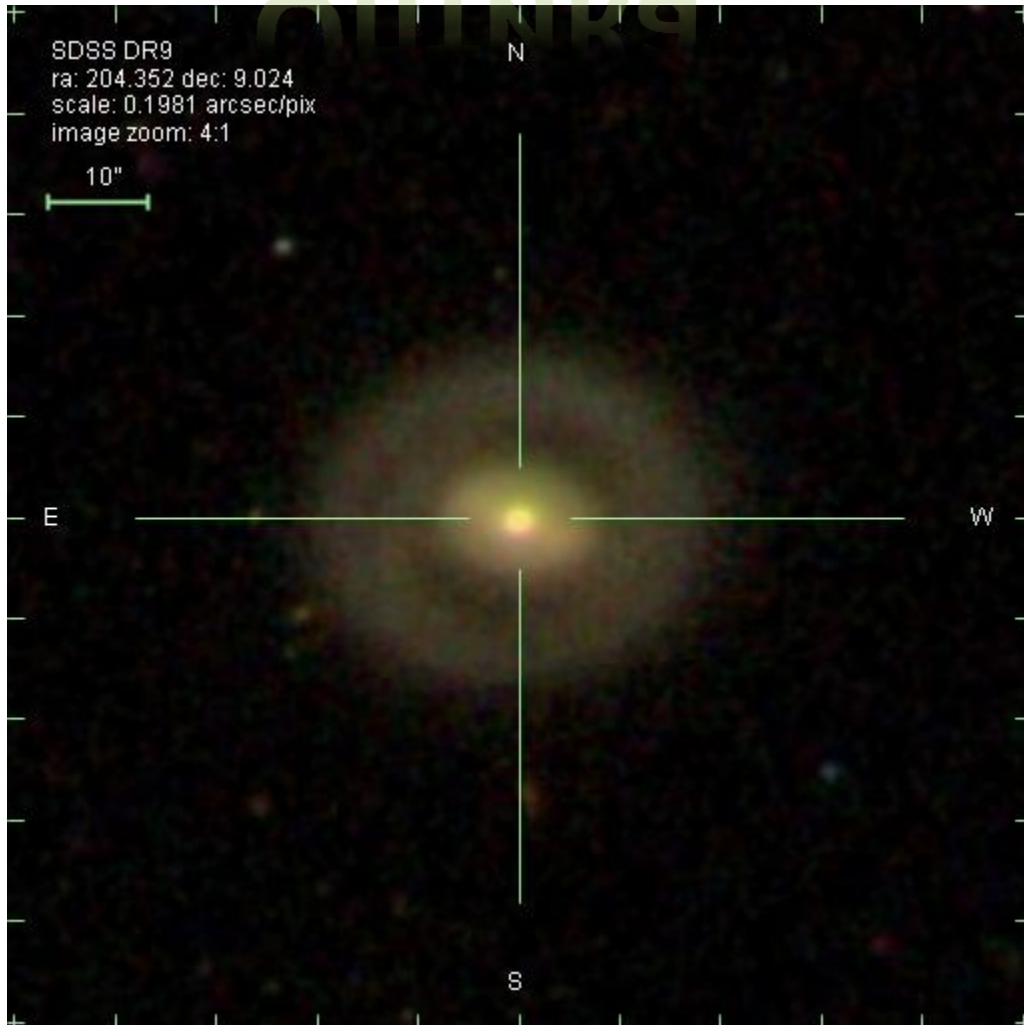
УФ



# PGC 48114

Оптика

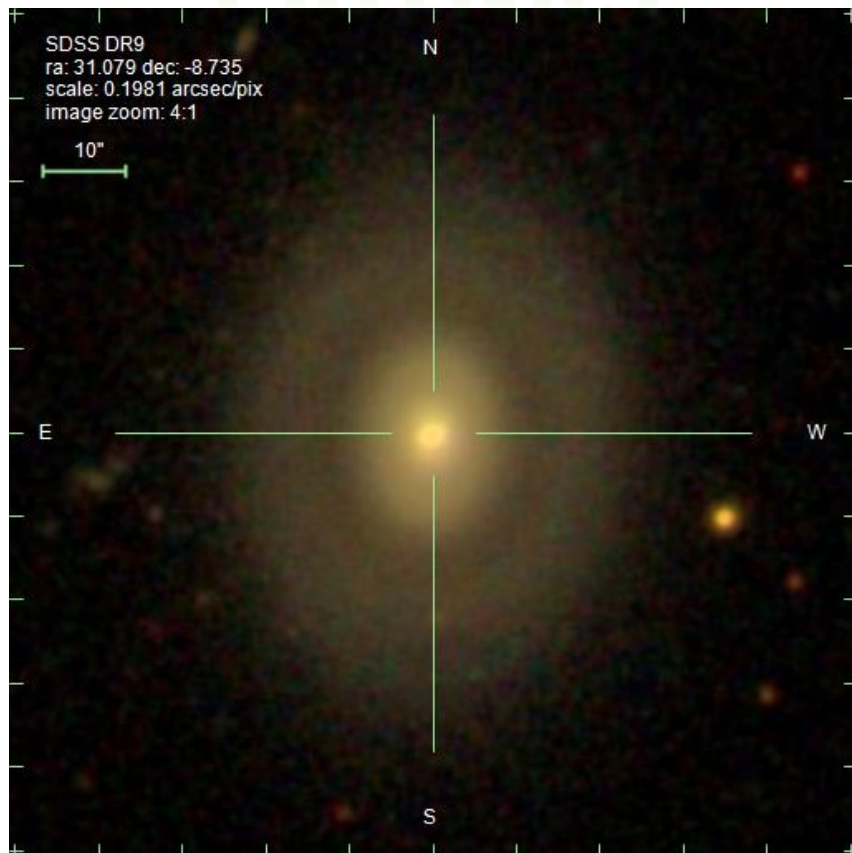
уф



# NGC 809

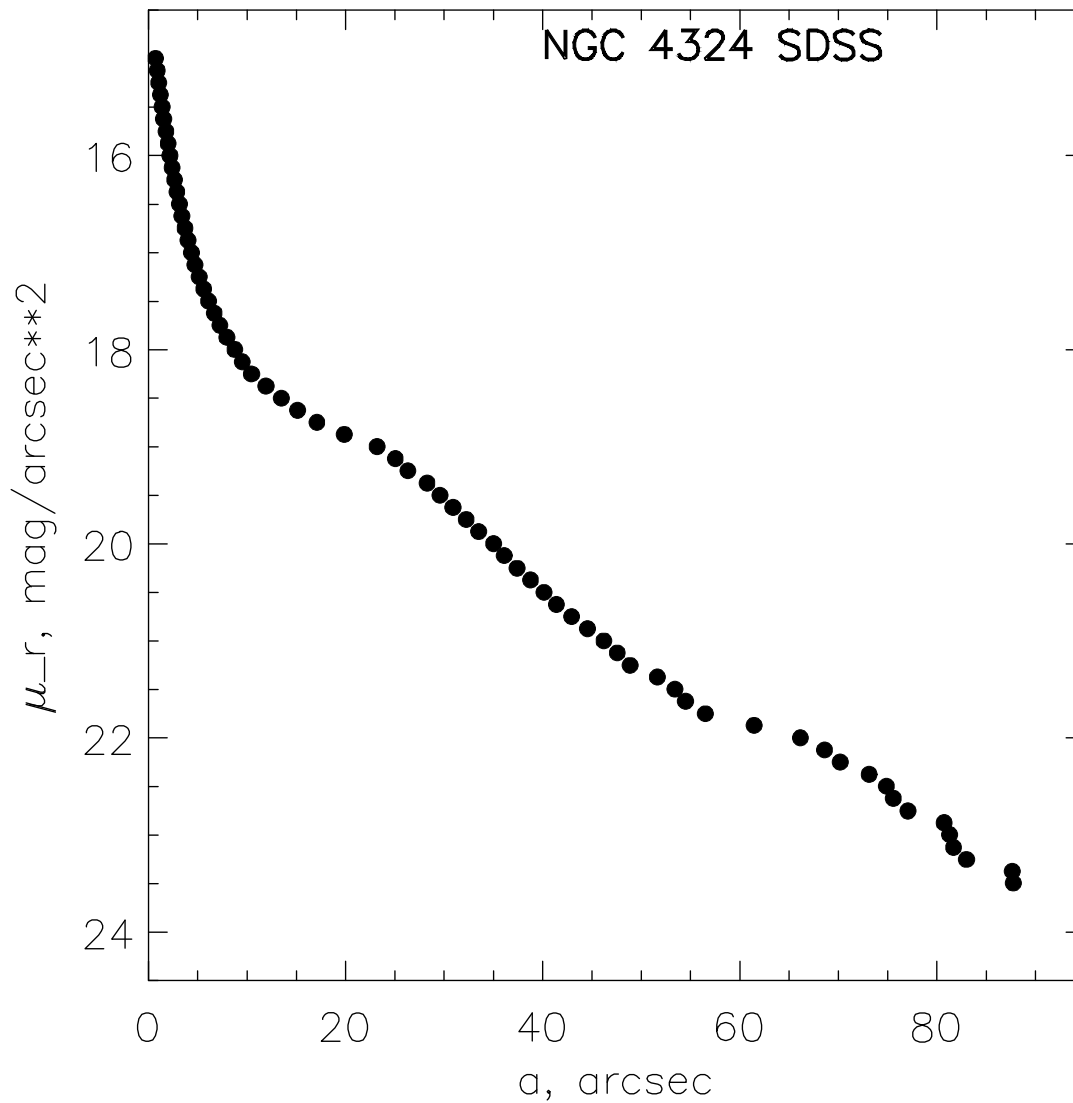
Оптика

УФ

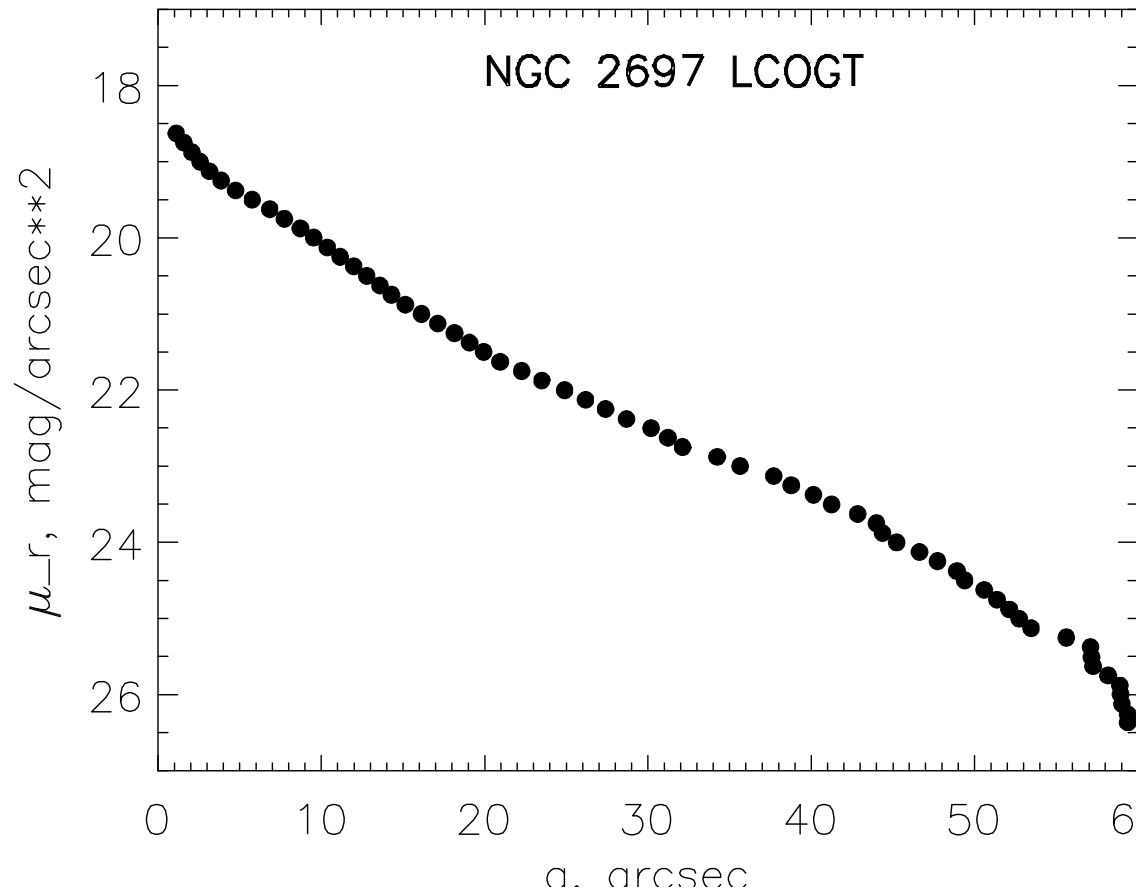




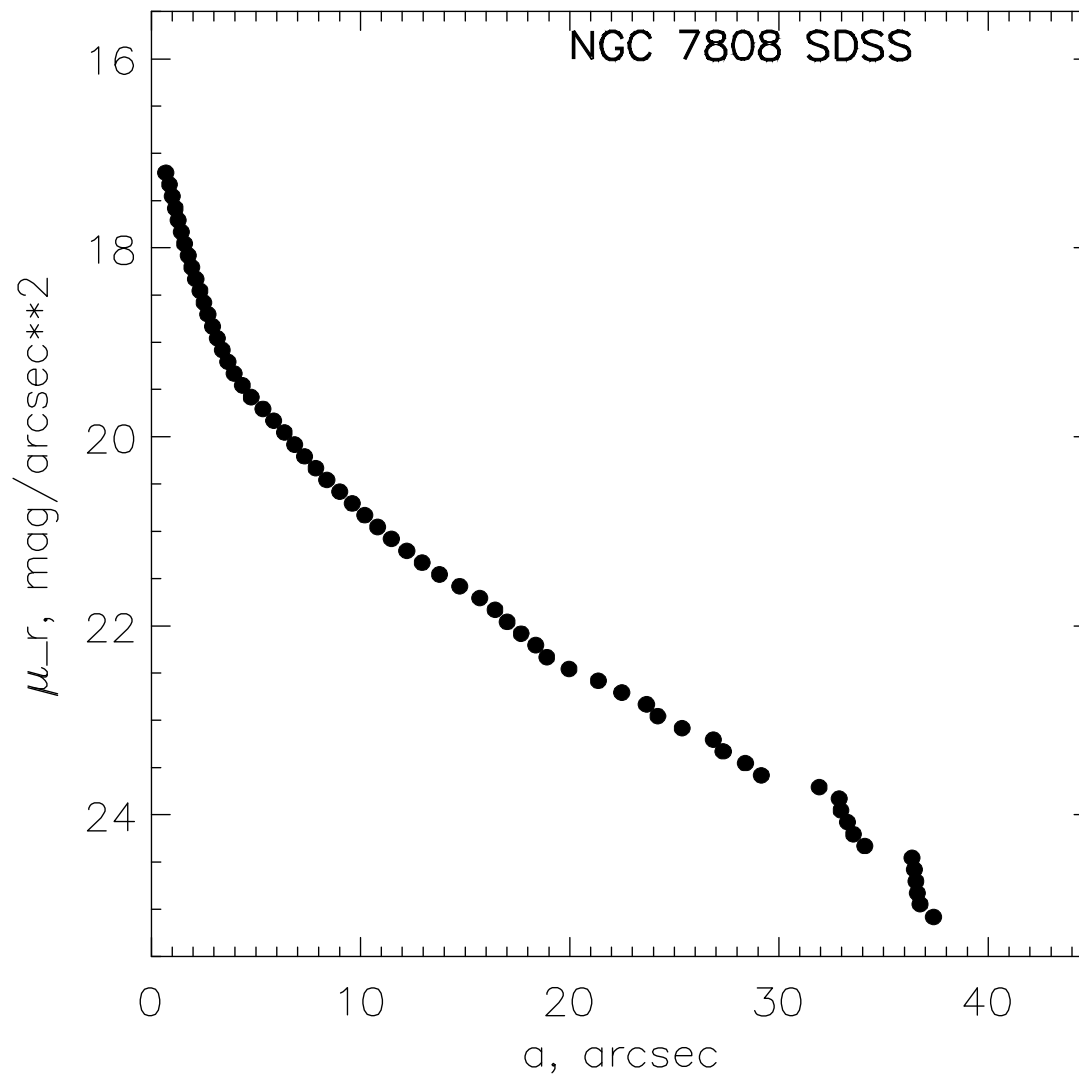
# Профили поверхностной яркости галактик



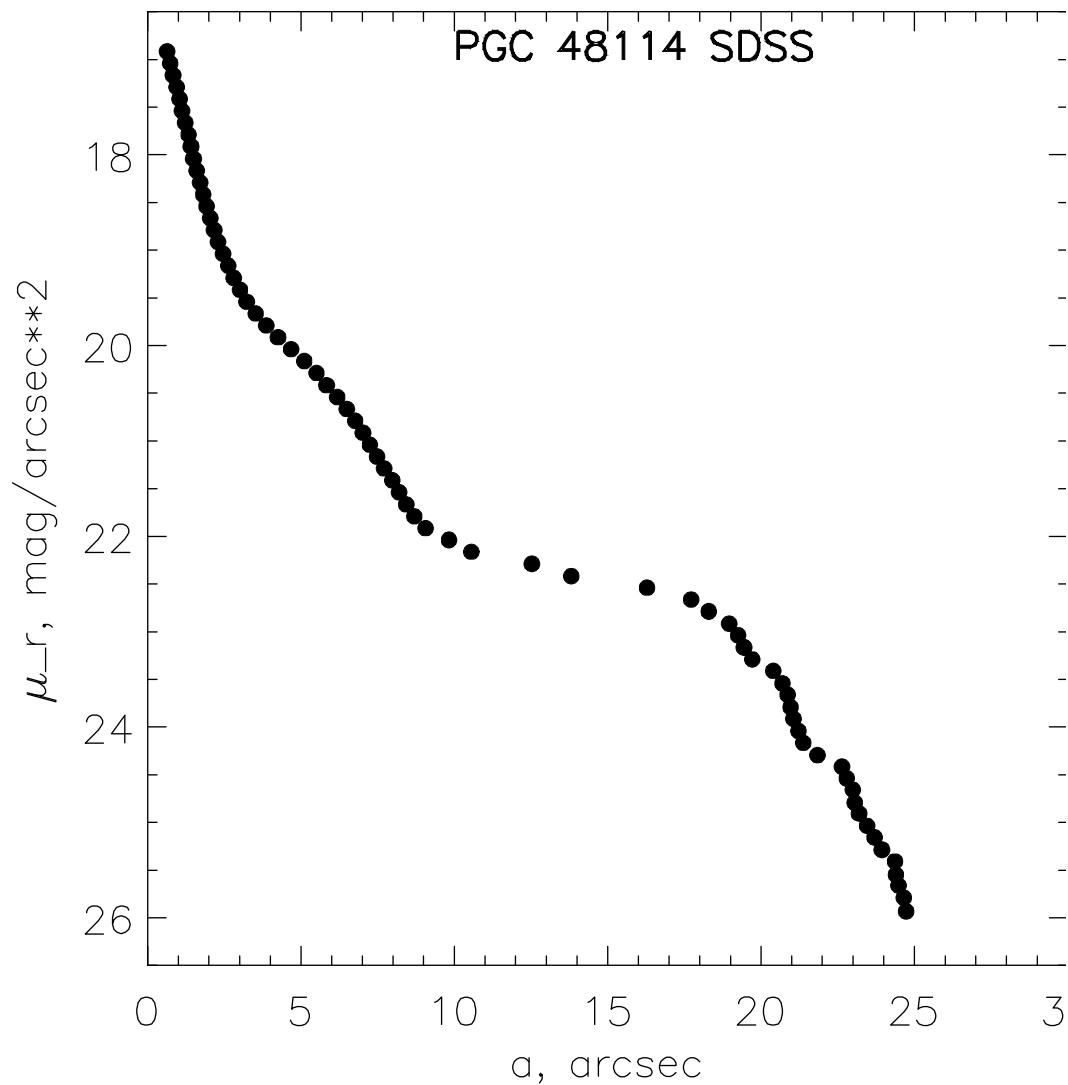
# Профили поверхностной яркости галактик



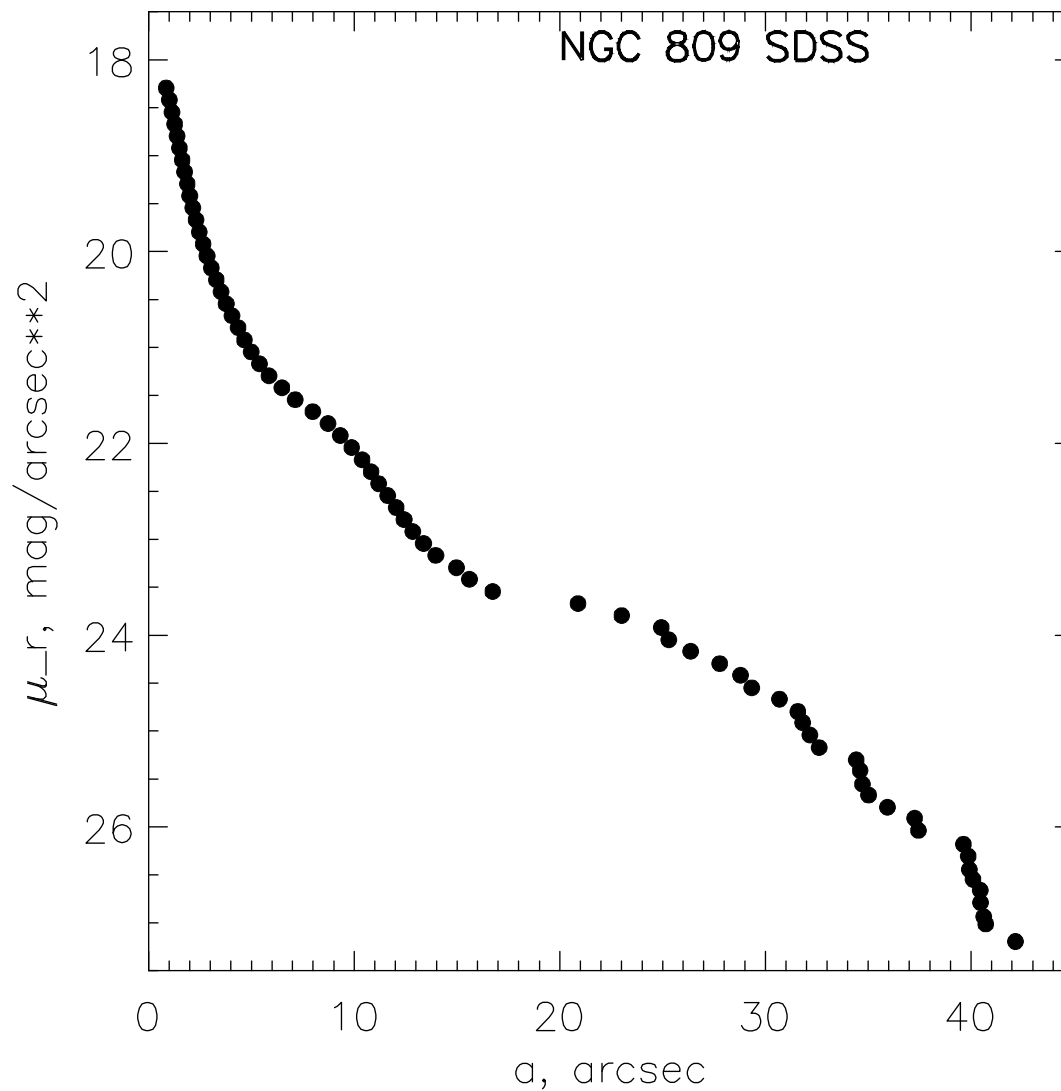
# Профили поверхностной яркости галактик



# Профили поверхностной яркости галактик



# Профили поверхностной яркости галактик



# Результаты обработки фотометрических данных

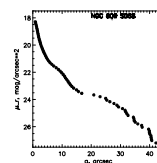
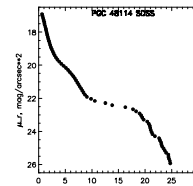
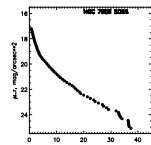
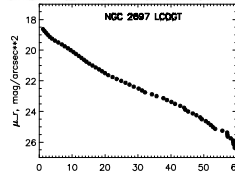
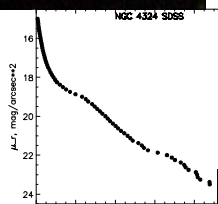
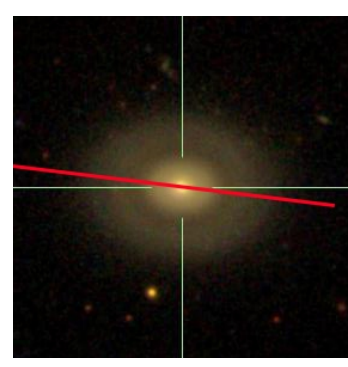
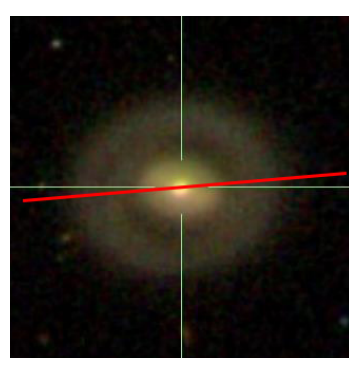
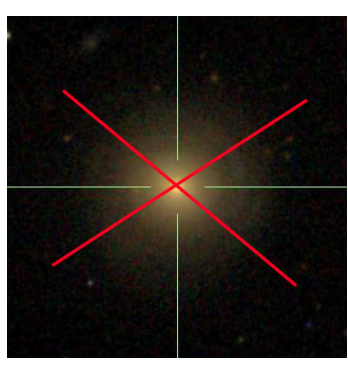
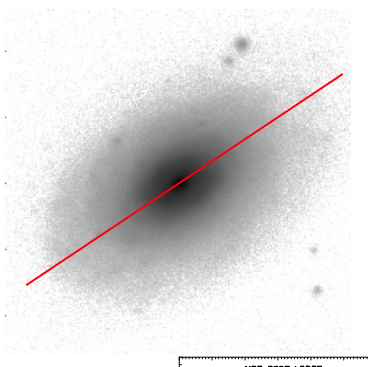
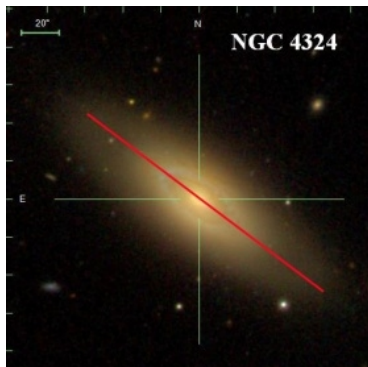
NGC 4324

NGC 2697

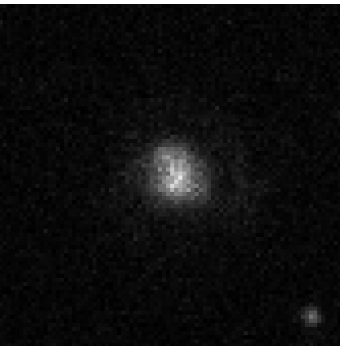
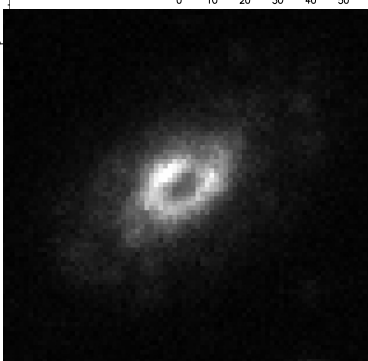
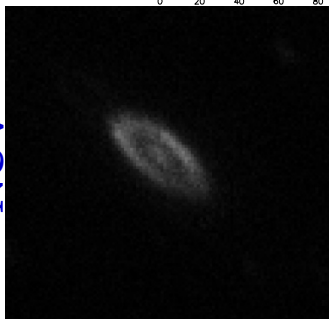
NGC 7808

PGC 48114

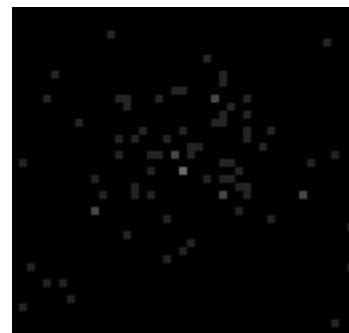
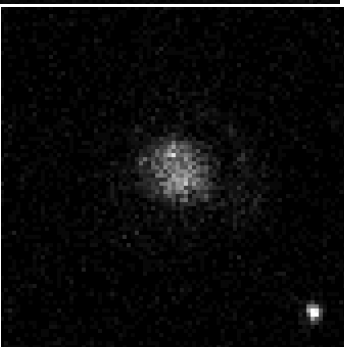
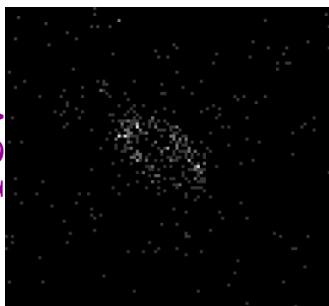
NGC 809



NUV



FUV



# Результаты обработки фотометрических данных

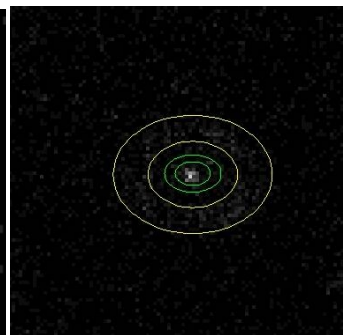
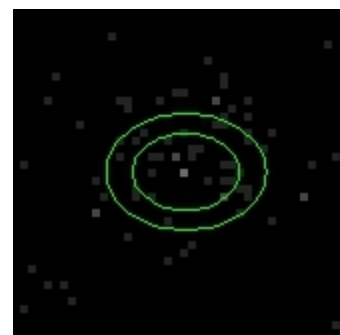
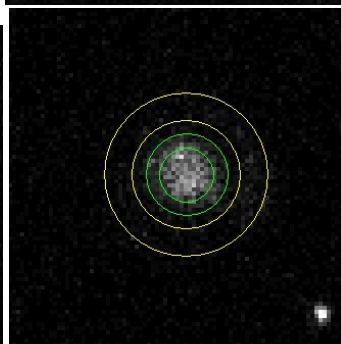
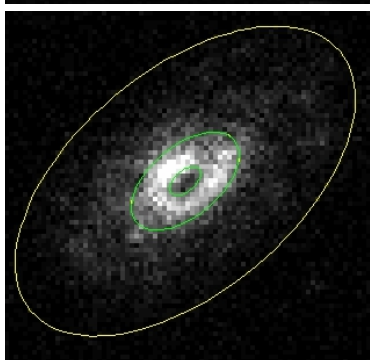
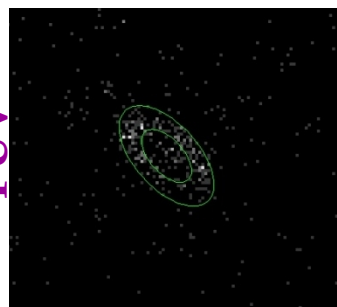
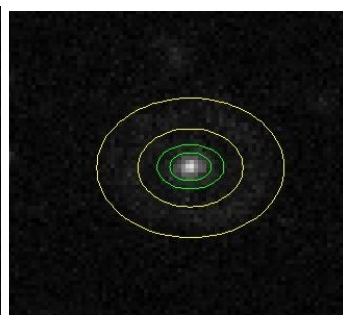
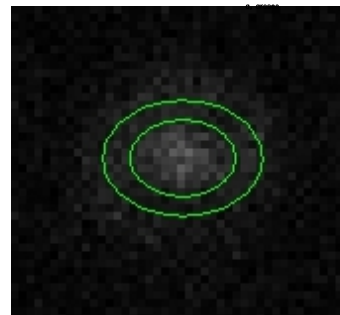
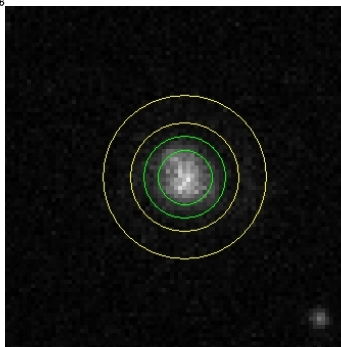
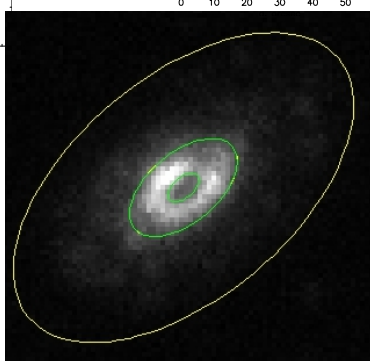
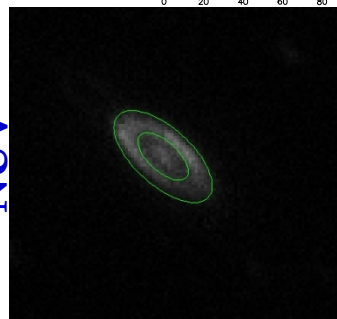
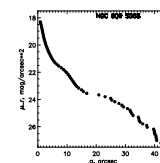
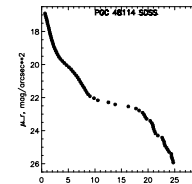
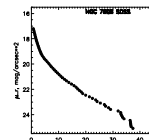
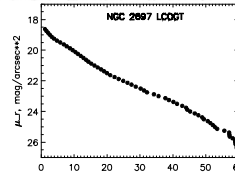
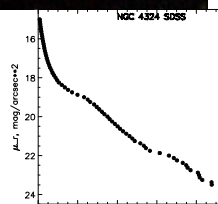
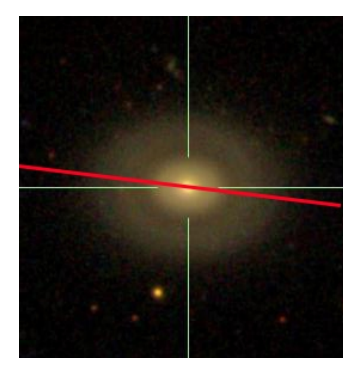
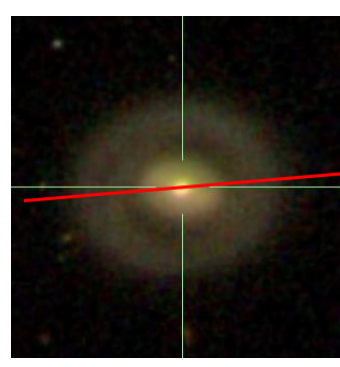
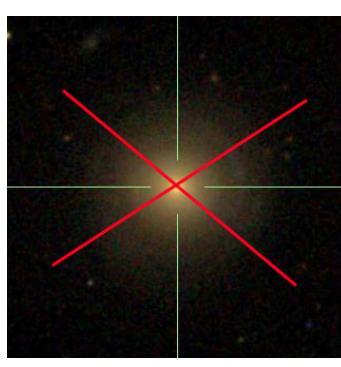
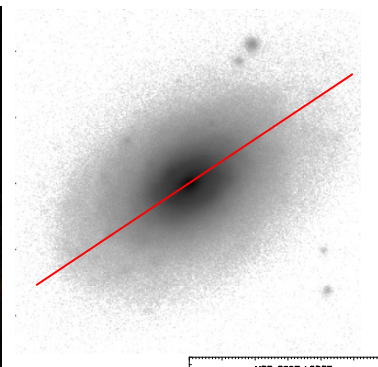
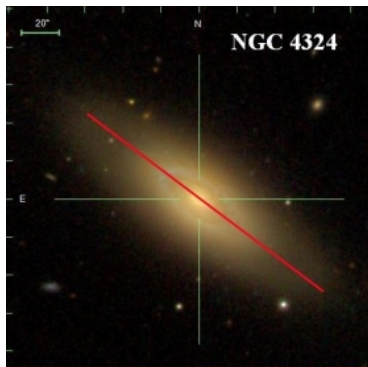
NGC 4324

NGC 2697

NGC 7808

PGC 48114

NGC 809



NUV

FUV

# Сравнение темпов звездообразования в кольцеобразных областях в УФ-диапазоне

Галактика	Границы кольца в УФ-диапазоне		Темп звездообразования $SFR_{FUV}$ , ( $M_{\text{sun}}/\text{год} \cdot \text{кпк}^2$ )	Темп звездообразования $SFR_{NUV}$ , ( $M_{\text{sun}}/\text{год} \cdot \text{кпк}^2$ )
	r, arcsec	R, arcsec		
<b>NGC 4324</b>	15.4	30	<b><math>4.58 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>5.73 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>NGC 2697</b>	6	20.6	<b><math>7.47 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>9.38 \cdot 10^{-3}</math></b>
	20.6	65	<b><math>1.26 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>1.38 \cdot 10^{-3}</math></b>
	35	45	<b><math>1.44 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>1.58 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>NGC 7808</b>	10	15	<b><math>2.27 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>2.58 \cdot 10^{-3}</math></b>
	20	30	<b><math>0.66 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>0.73 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PGC 48114</b>	10	15	<b><math>0.62 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>0.80 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>NGC 809</b>	7.5	12	<b><math>0.55 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>0.83 \cdot 10^{-3}</math></b>
	19	34	<b><math>0.29 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>0.36 \cdot 10^{-3}</math></b>

Примечание. Расчёт темпов звездообразования проводился по формулам из статьи R.C. Kennicutt, N. J. Evans. Annu. Rev. Astron. Astrophys. 2012. 50:531-608



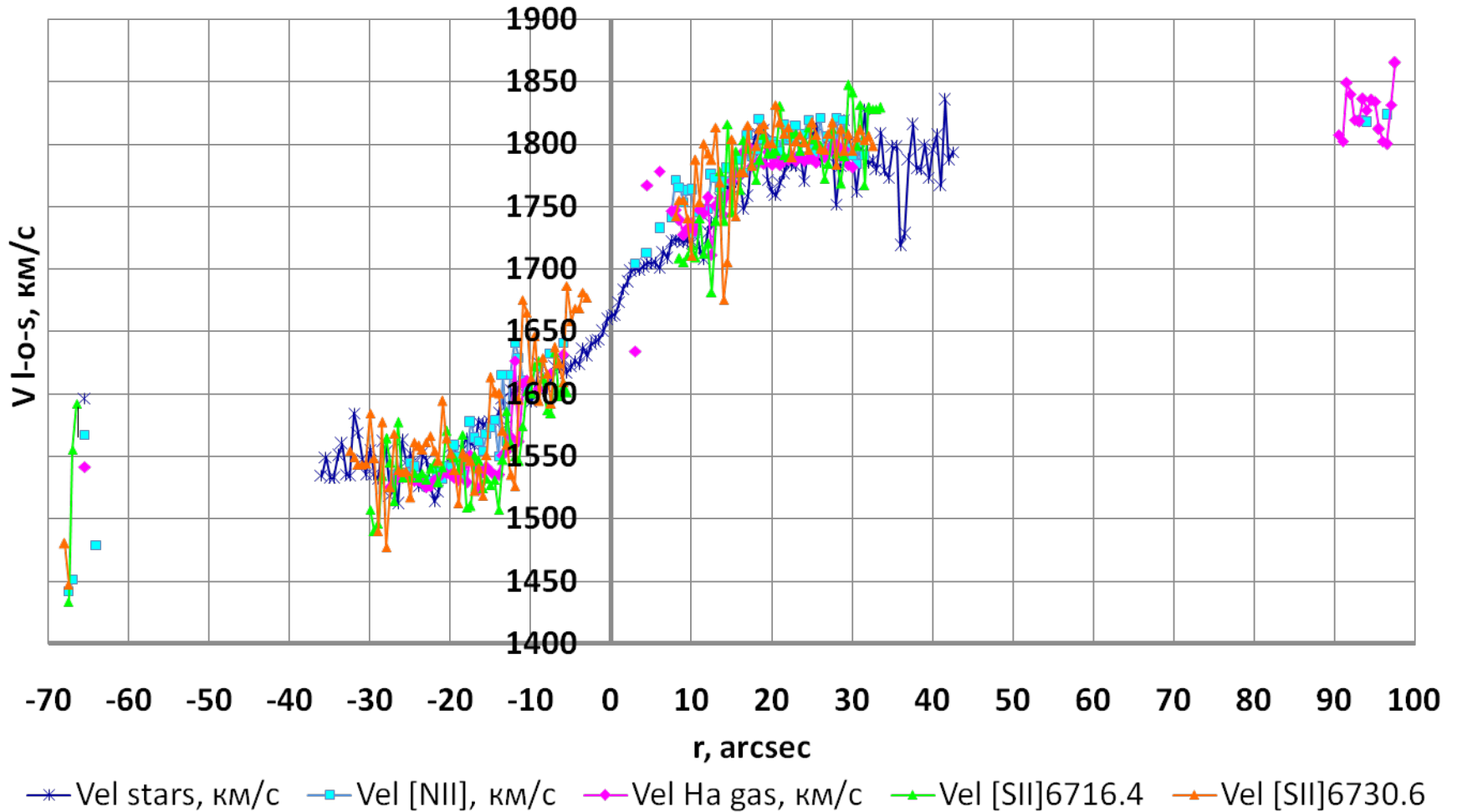
# Скорости звёзд и газа в галактиках

Скорости звёздных компонент галактик определены с помощью кросс-корреляции спектра галактики со спектром звезды К-гиганта.

Скорости газовых компонент галактик измерены с помощью гауссанализа по эмиссионным линиям  $H\alpha$ , [NII], а в некоторых случаях и линий [SII],  $H\beta$ , [OIII].

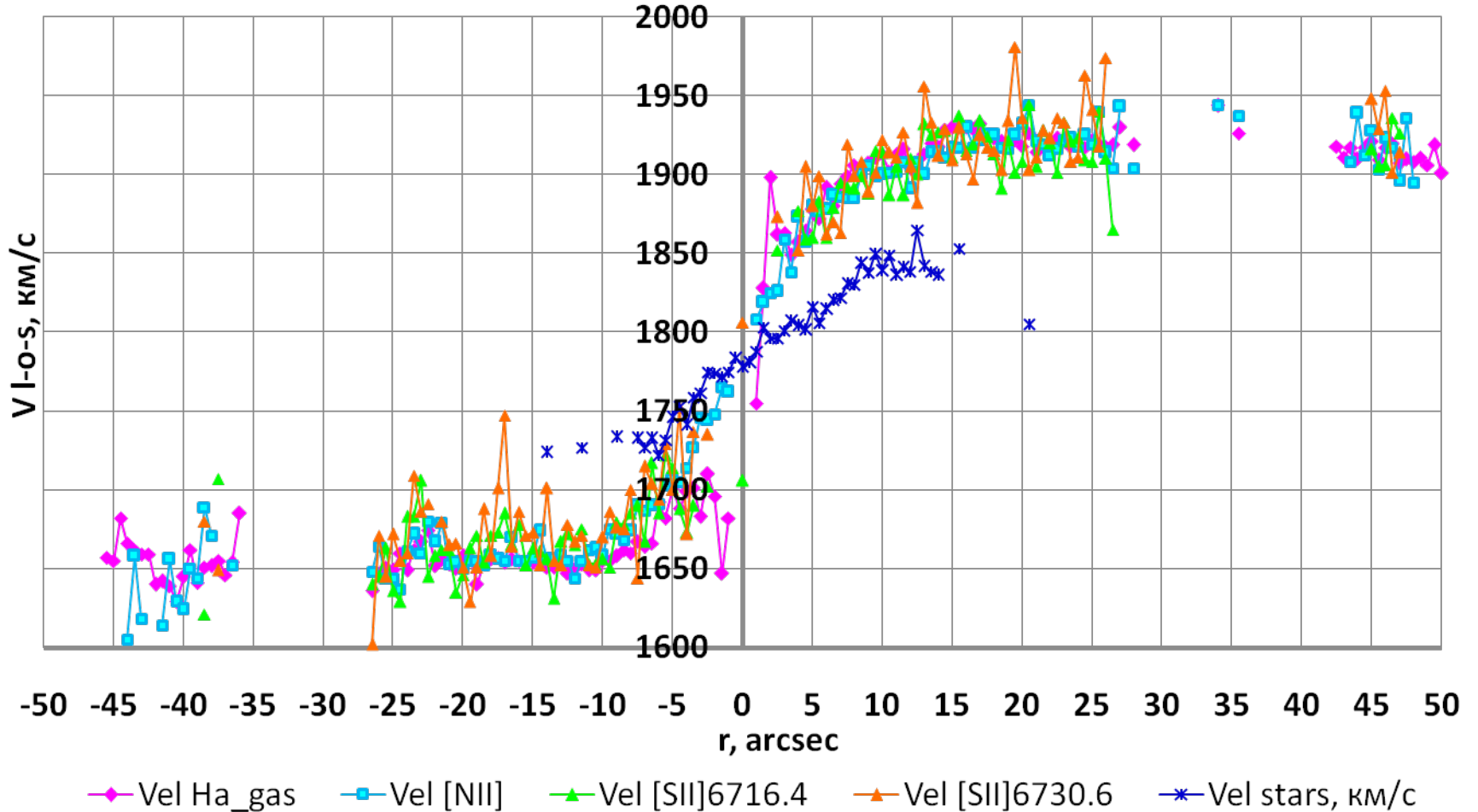
# NGC 4324

## Лучевые скорости звёзд и газа в NGC 4324



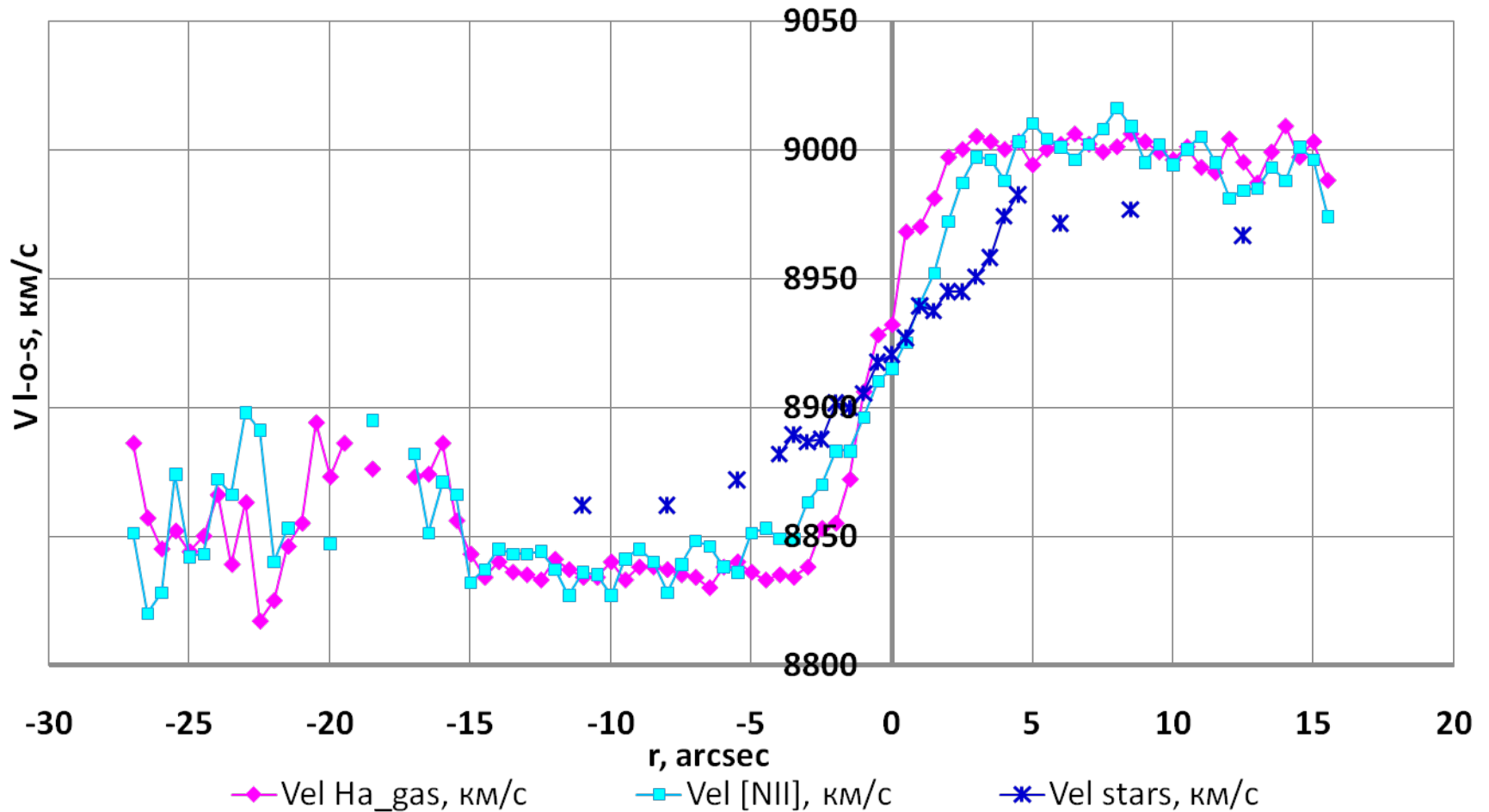
# NGC 2697

Лучевые скорости звёзд и газа в галактике NGC 2697



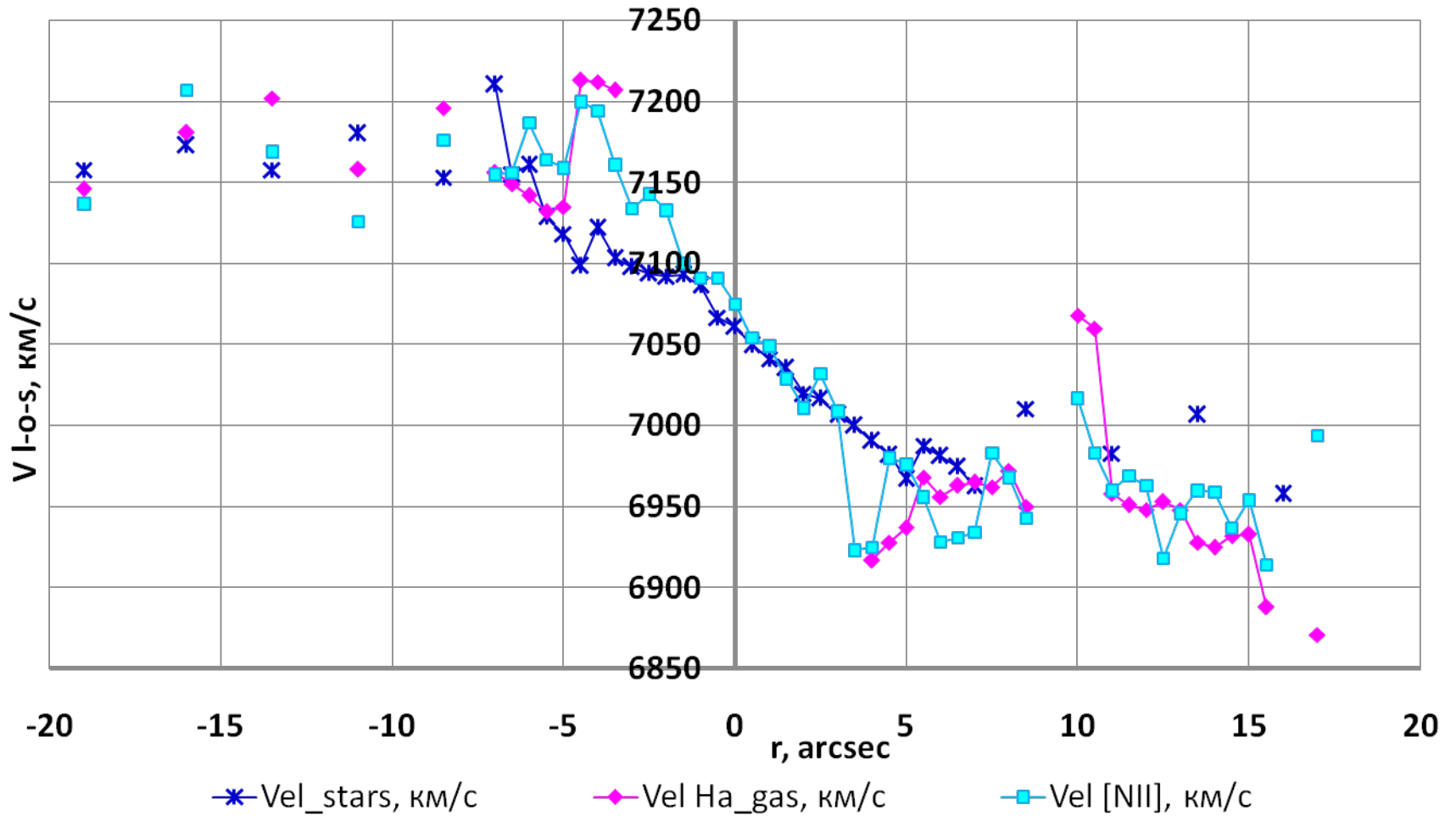
# NGC 7808

Лучевые скорости звёзд и газа в галактике NGC 7808



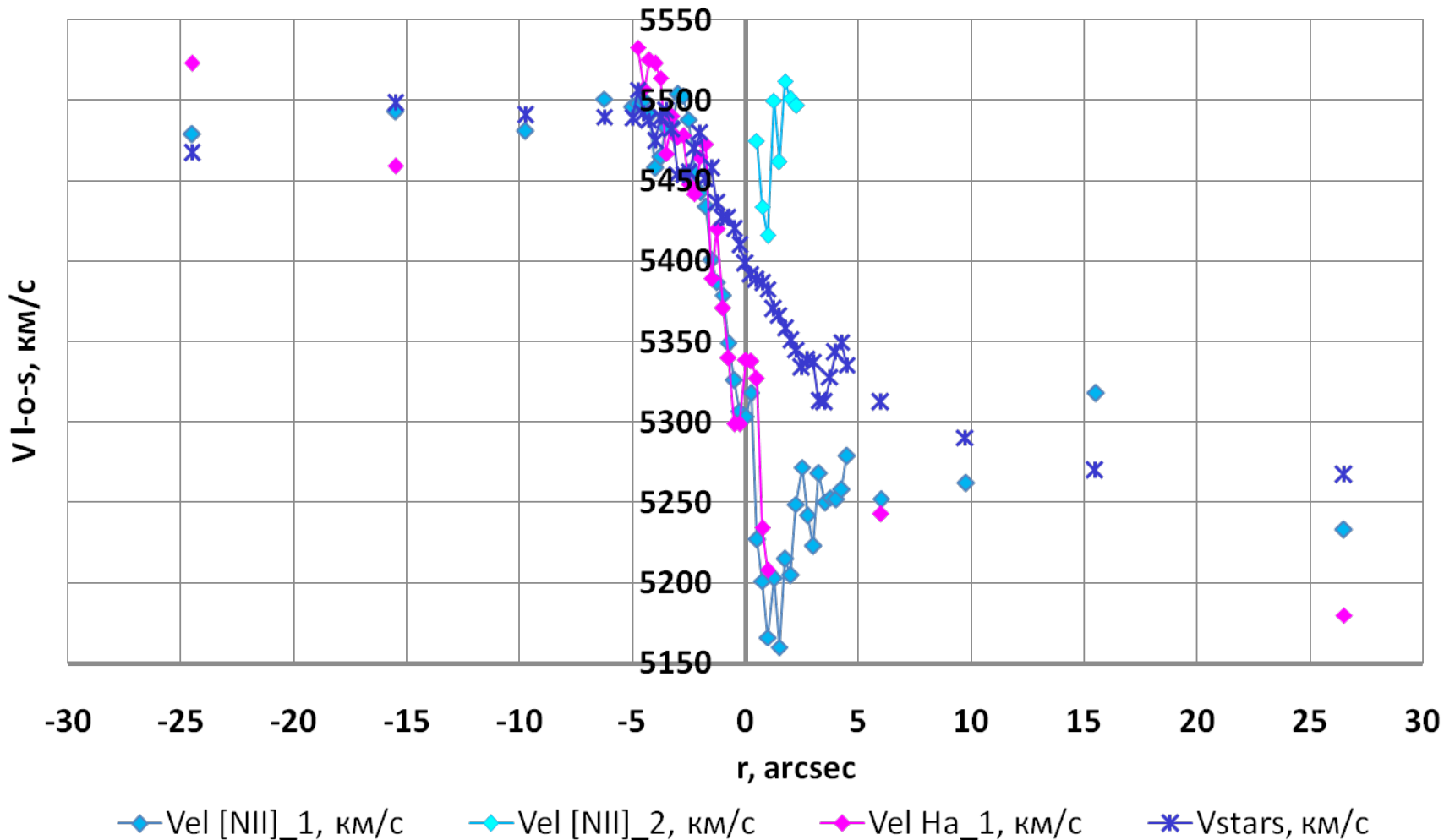
# PGC 48114

Лучевые скорости звёзд и газа в галактике PGC 48114



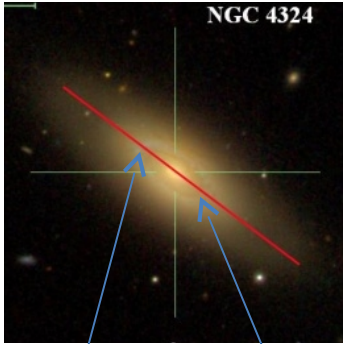
# NGC 809

Лучевые скорости звёзд и газа в галактике NGC 0809

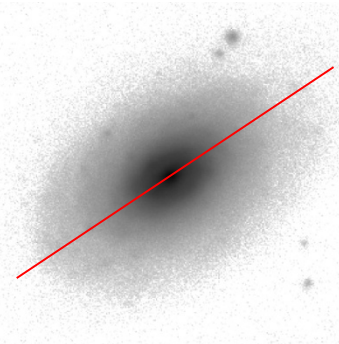


# Результаты обработки спектральных данных

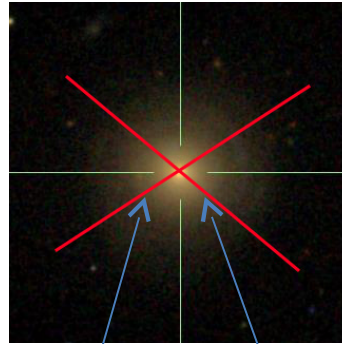
NGC 4324



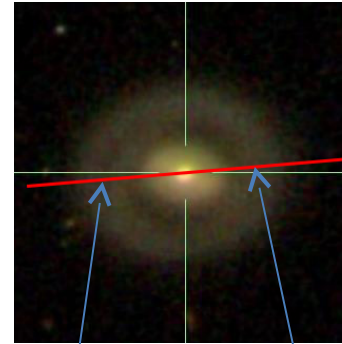
NGC 2697



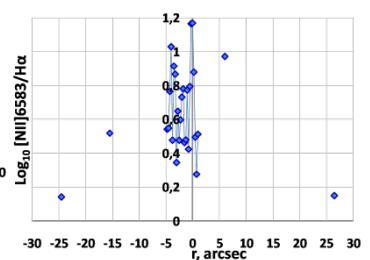
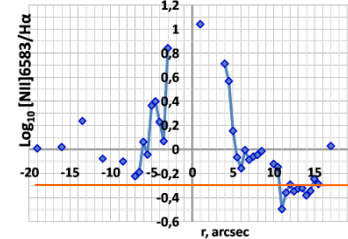
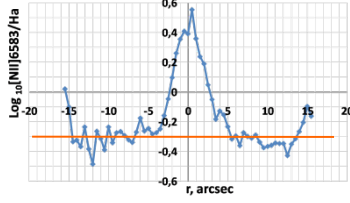
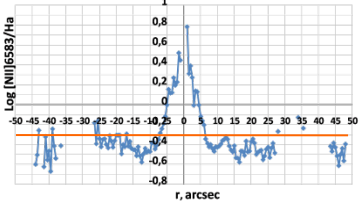
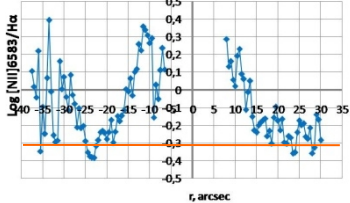
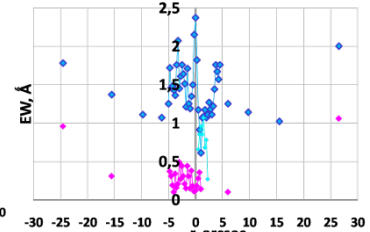
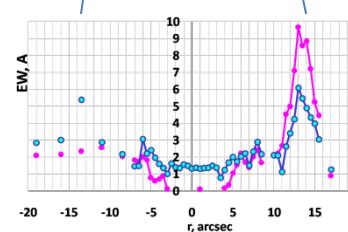
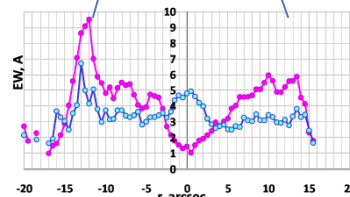
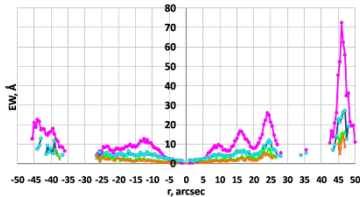
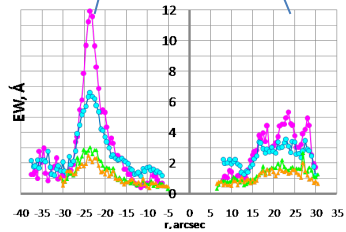
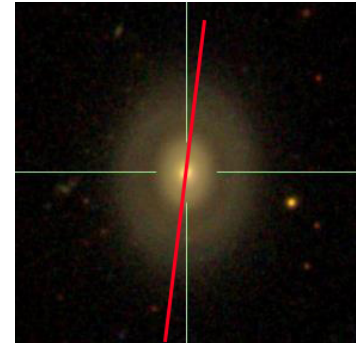
NGC 7808



PGC 48114



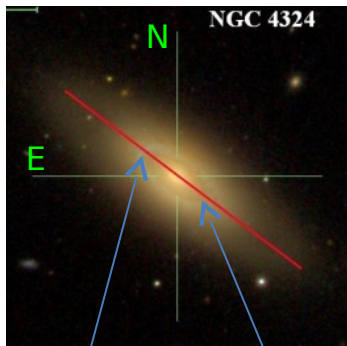
NGC 809



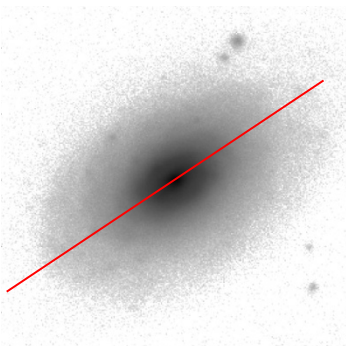
Примечание. Для определения областей звездообразования использовались BPT-диаграммы из работы Kewley L. J., Groves B., Kauffmann G., Heckman T., 2006, MNRAS, 372, 961

# Результаты обработки спектральных данных

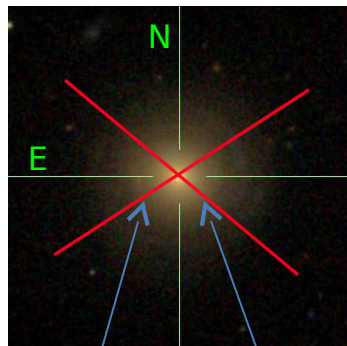
## NGC 4324



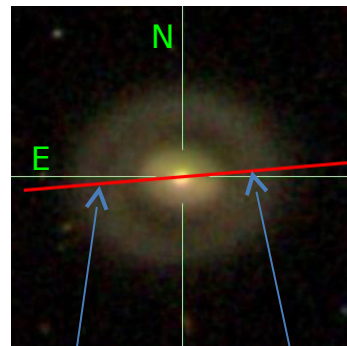
## NGC 2697



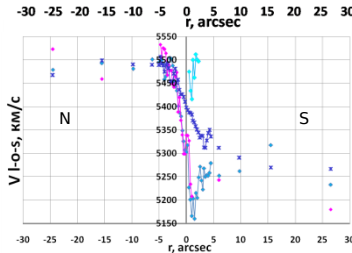
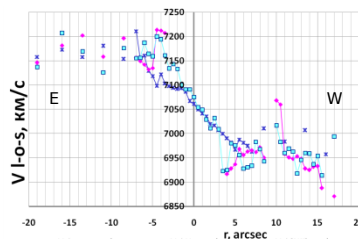
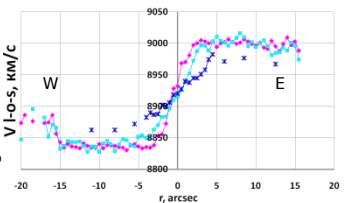
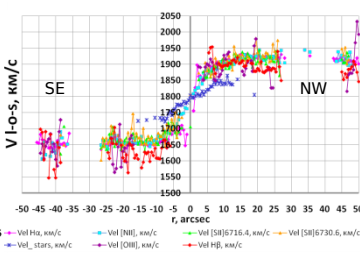
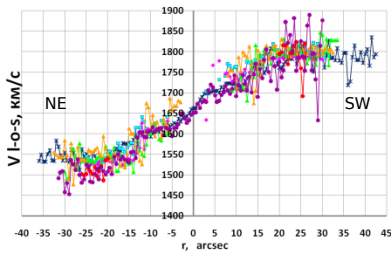
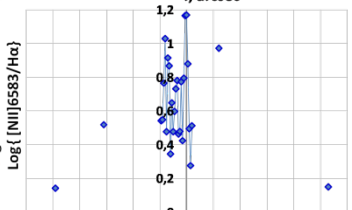
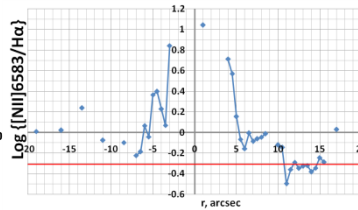
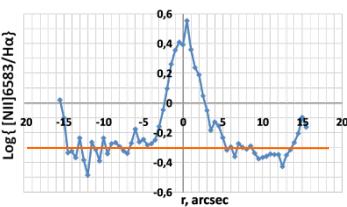
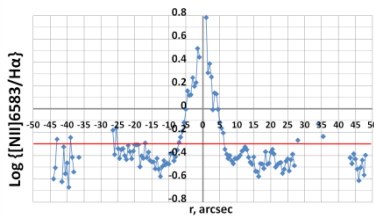
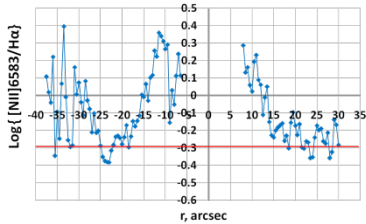
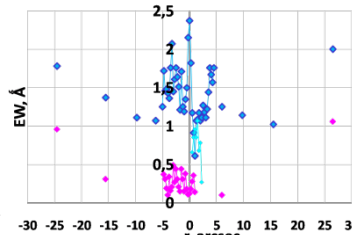
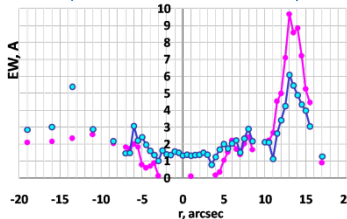
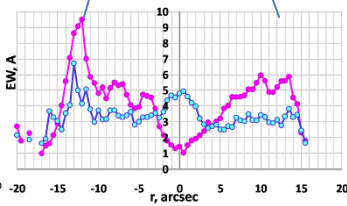
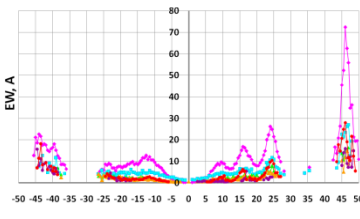
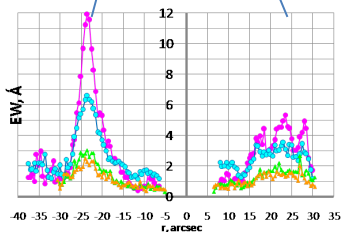
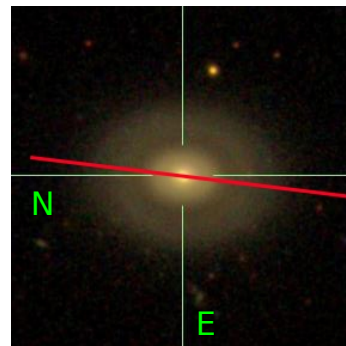
## NGC 7808



## PGC 48114



## NGC 809



— Vel stars, km/c    — Vel [NII], km/c    — Vel Hα, km/c    — Vel [SII]6730.6, km/c  
— Vel [SII]6730.6, km/c    — Vel Hβ, km/c    — Vel [OIII], km/c    — Vel [SII]6716.4, km/c

— Vel stars, km/c    — Vel [NII], km/c    — Vel Hα, km/c    — Vel [SII]6730.6, km/c  
— Vel [SII]6730.6, km/c    — Vel Hβ, km/c    — Vel [OIII], km/c    — Vel [SII]6716.4, km/c

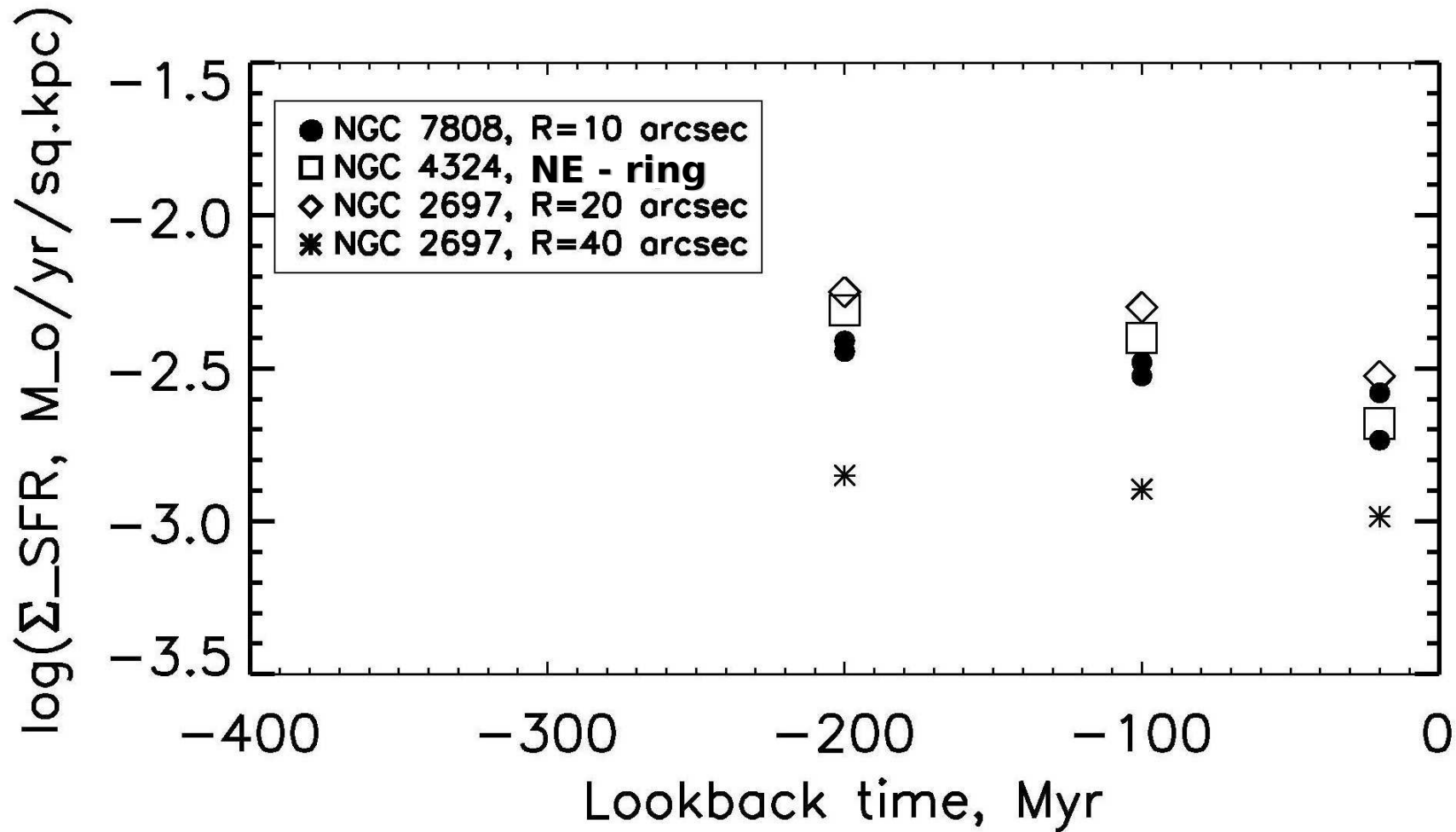
— Vel Hα, km/c    — Vel [NII], km/c    — Vel stars, km/c

— Vel stars, km/c    — Vel Hα, km/c    — Vel [NII], km/c

— Vel [NII]\_1, km/c    — Vel [NII]\_2, km/c    — Vel Hα, km/c    — Vel stars, km/c



# Истории звездообразования в кольцах

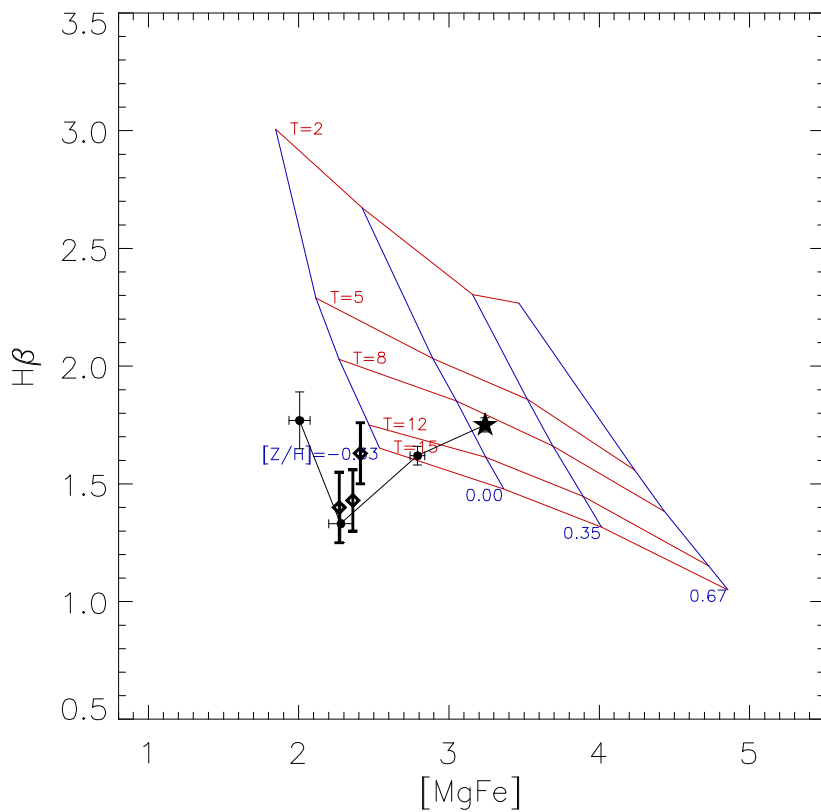


# Свойства звёздного населения галактик

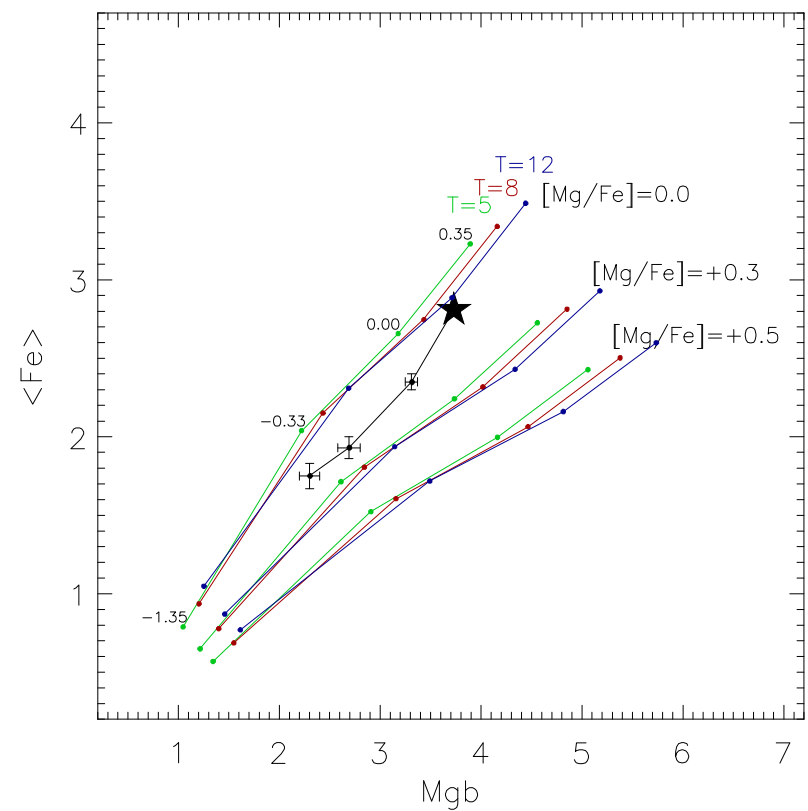
- Измерение Ликских индексов
- Оценка среднего возраста и металличности звёздного населения галактик, а также обилия  $\alpha$ -элементов с помощью диагностических диаграмм (Thomas D., Maraston C., Bender R., 2003)

# NGC 4324

Оценка среднего возраста и  
металличности звёздного населения  
галактики NGC 4324 в центре ( $r \leq 3''$ ;  
 $3'' < r \leq 6''$ ), во внутреннем диске  
( $r = 7'' \dots 16''$ ) и в кольце с яркой эмиссией  
газа ( $r = 17'' \dots 29''$ )

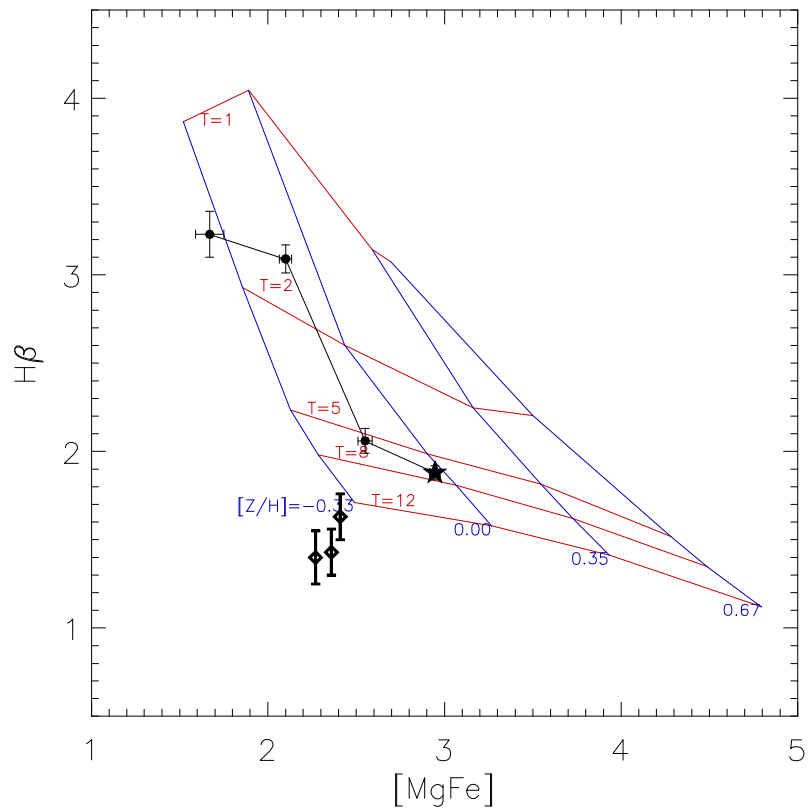


Оценка отношения [Mg/Fe] в NGC 4324  
на различных расстояниях от центра

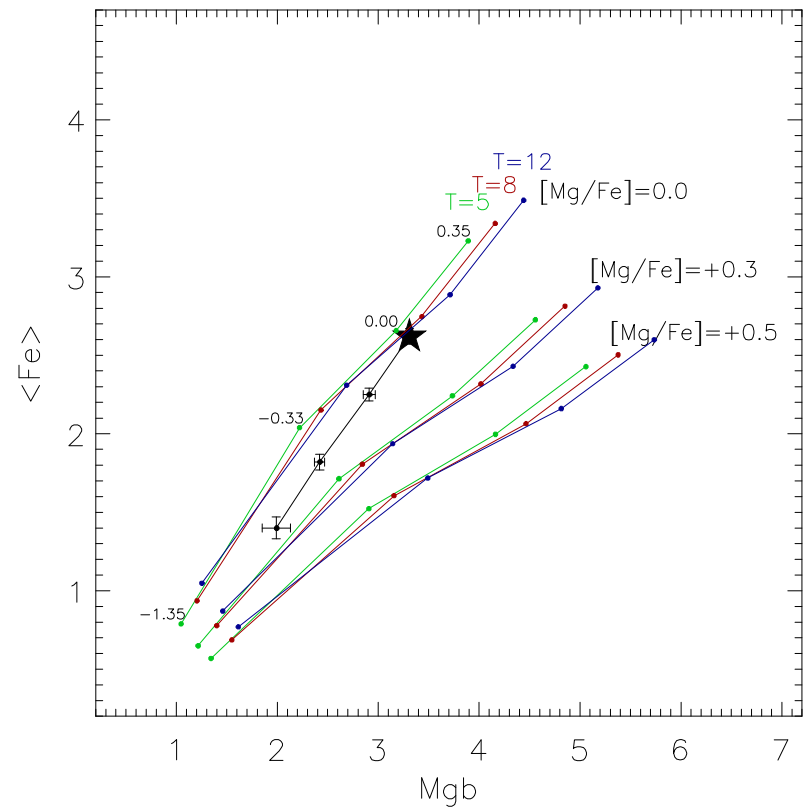


# NGC 2697

Оценка среднего возраста и металличности звёздного населения галактики NGC 2697 в центре ( $r < 2''$ ), в области  $2,5'' < r \leq 7''$  и в кольцах с яркой эмиссией газа в диске ( $7'' < r < 11''$  и  $11'' \leq r < 21''$ )

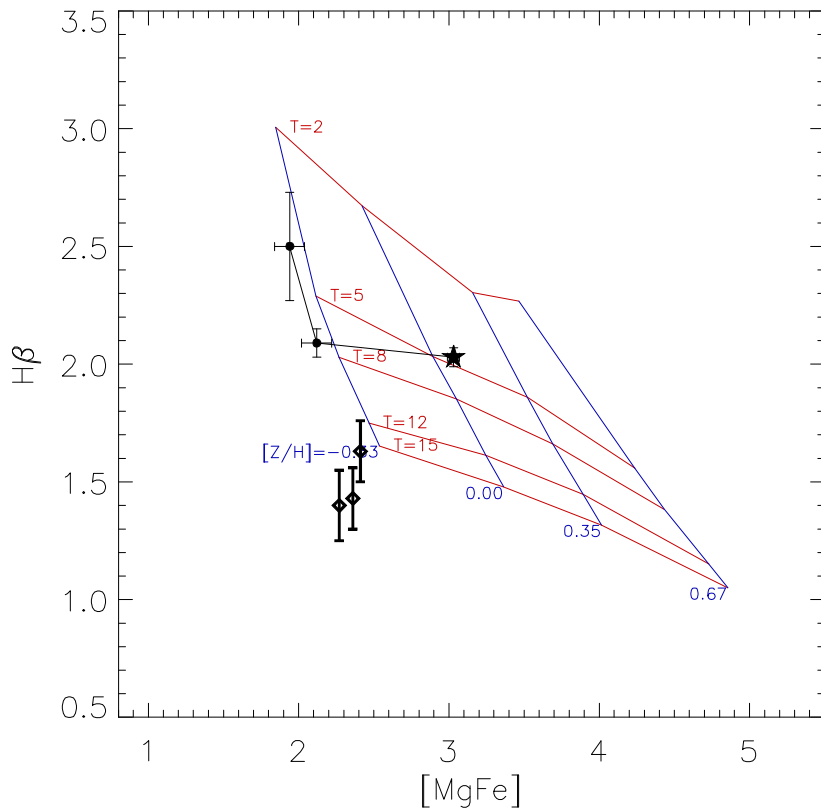


Оценка отношения [Mg/Fe] в NGC 2697 на различных расстояниях от центра

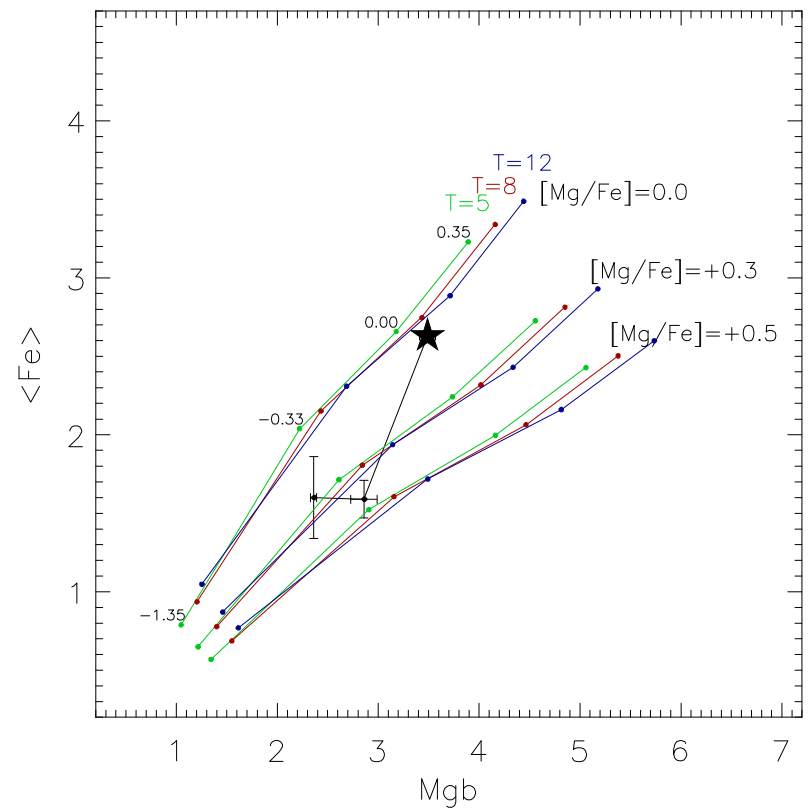


# NGC 7808

Оценка среднего возраста и  
металличности звёздного населения  
галактики NGC 7808 в центре ( $r < 4,5''$ ), в  
средней части диска ( $r = 5'' \dots 9,5''$ ) и в  
кольце с яркой эмиссией H $\alpha$  ( $r =$   
 $10'' \dots 15''$ )



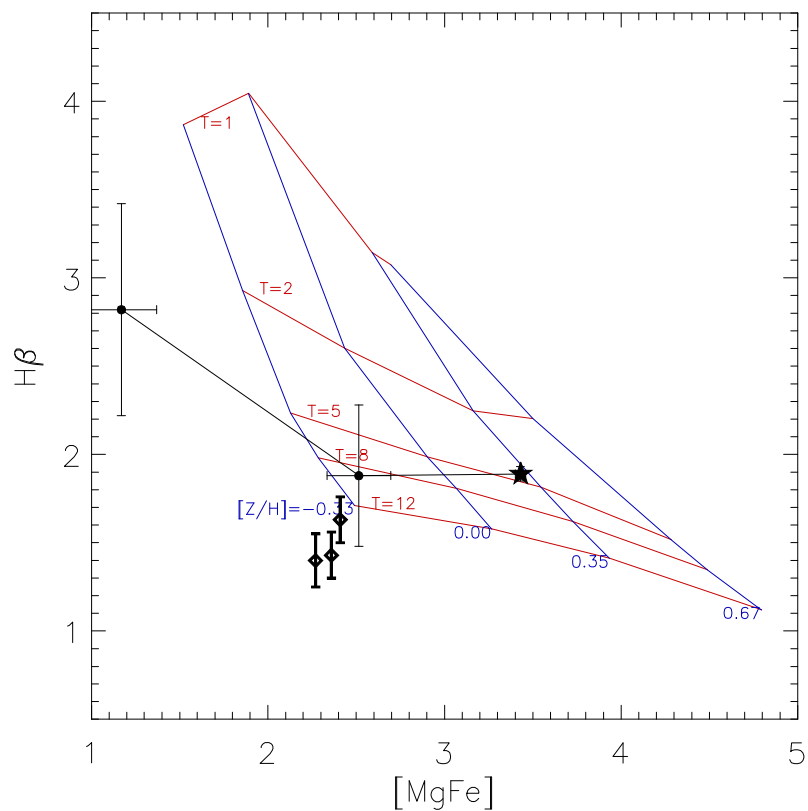
Оценка отношения [Mg/Fe] в NGC 7808  
на различных расстояниях от центра



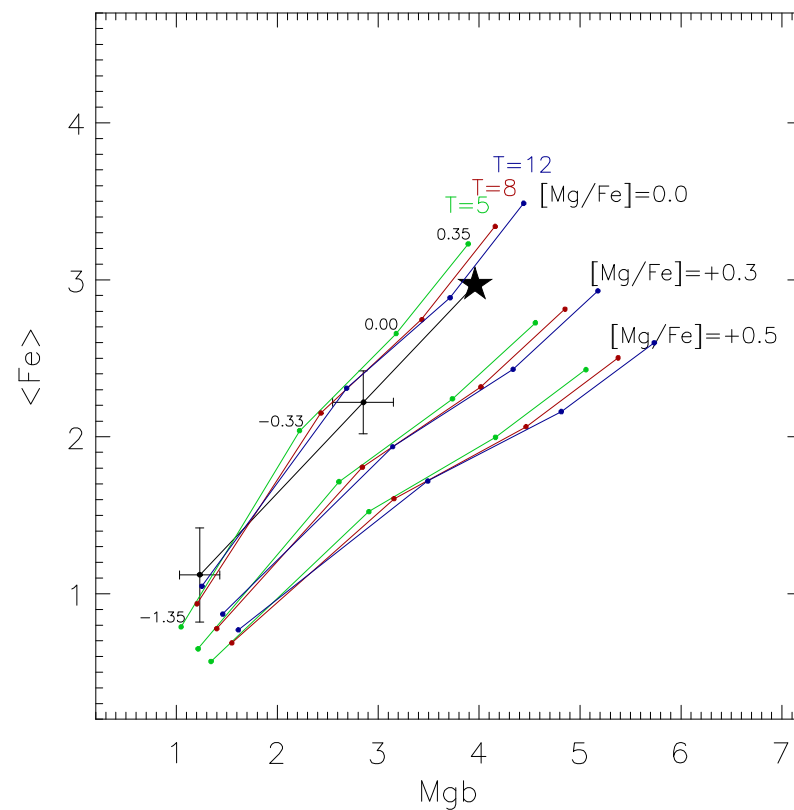
# PGC 48114

Оценка среднего возраста и  
металличности звёздного населения  
галактики PGC 48114

в центре ( $r < 2,5''$ ), в области  $2,5'' \leq r \leq 10''$  и  
в экспоненциальном диске ( $r > 10''$ )

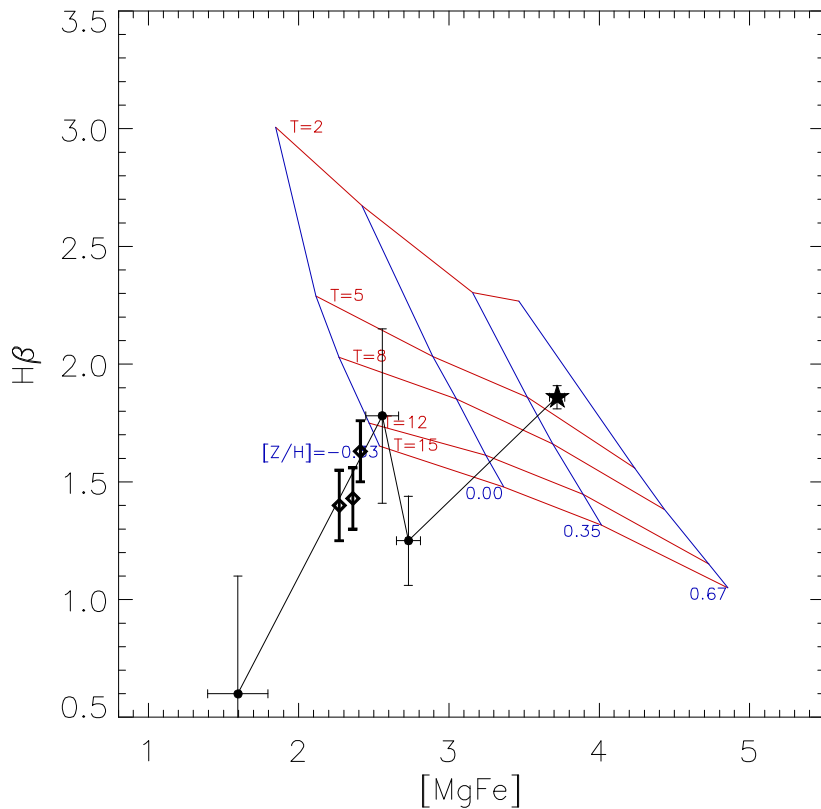


Оценка отношения [Mg/Fe] в PGC 48114  
на различных расстояниях от центра

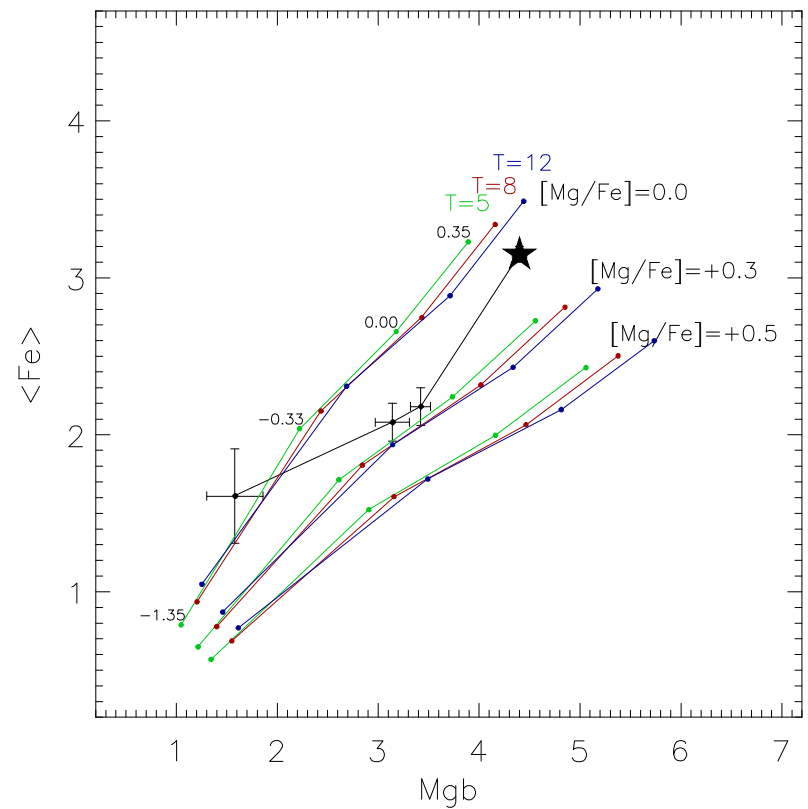


# NGC 809

Оценка среднего возраста и металличности звёздного населения галактики NGC 809 в центре ( $r < 3''$ ), в областях  $3'' \leq r < 7,5''$ ,  $7,5'' < r < 18,5''$  и во внешнем кольце ( $r = 19'' \dots 34''$ )



Оценка отношения [Mg/Fe] в NGC 809 на различных расстояниях от центра



# Сравнение металличностей звёзд и газа на различных радиусах в галактиках

Галактика	Расстояние от центра галактики r, arcsec	Металличность звёзд, [Z/H]	Металличность газа, [O/H] (O3N2)	Металличность газа, [O/H] (N2)
<b>NGC 2697</b>	+16"	-0.4	$-0.145 \pm 0.04$	$-0.19 \pm 0.05$
	+24"		$-0.15 \pm 0.03$	$-0.18 \pm 0.05$
	+46"		$-0.21 \pm 0.03$	$-0.19 \pm 0.05$
<b>NGC 4324</b>	-23"	-0.5	$-0.26 \pm 0.03$	$-0.11 \pm 0.04$
	+94"			$-0.18 \pm 0.06$
<b>NGC 7808</b>	-24"			$-0.15 \pm 0.03$
	-12"	-0.4	$-0.24 \pm 0.07$	$-0.11 \pm 0.04$
	+12"	-0.4	$-0.24 \pm 0.02$	$-0.12 \pm 0.01$
<b>PGC 48114</b>	+13"	-1.0		$-0.105 \pm 0.04$



# Выводы

- В исследуемых линзовидных галактиках обнаружен ионизованный газ (с разной природой возбуждения).
- В центральных частях галактик газ имеет ударное и/или комбинированное возбуждение.
- Газ, возбуждённый звездообразованием, прослеживается на расстоянии от центров галактик и образует **кольцеобразные структуры**.
- Звездообразование в этих областях длится уже около 200 млн. лет и затухает со временем.
- На одних и тех же расстояниях от центров галактик металличность звёзд и газа различны: металличность газа близка к солнечному значению, а металличность звёздного населения много меньше солнечного значения.
- Металличность звёздного населения достигает максимальных (солнечных и окоლოსолнечных) значений в центральных частях галактик и уменьшается от центра к периферии галактики.
- Звездообразование в исследуемых галактиках протекает в областях с продвинутой химической эволюцией газа (либо родительской галактики, либо аккрецировавшего с другой галактики).
- Следы аккреции низкометаллического газа не обнаружены.

**Proshina I.S., Kniazev A. Yu., Sil'chenko O.K. 2019, AJ, 158, 5**

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-02-00094а

**Спасибо за внимание!**