

Многоволновые исследования редких астрофизических объектов с использованием больших массивов данных

Иван Золотухин (ГАИШ МГУ)

План доклада

1. Введение. Методические разработки

2. Научные задачи

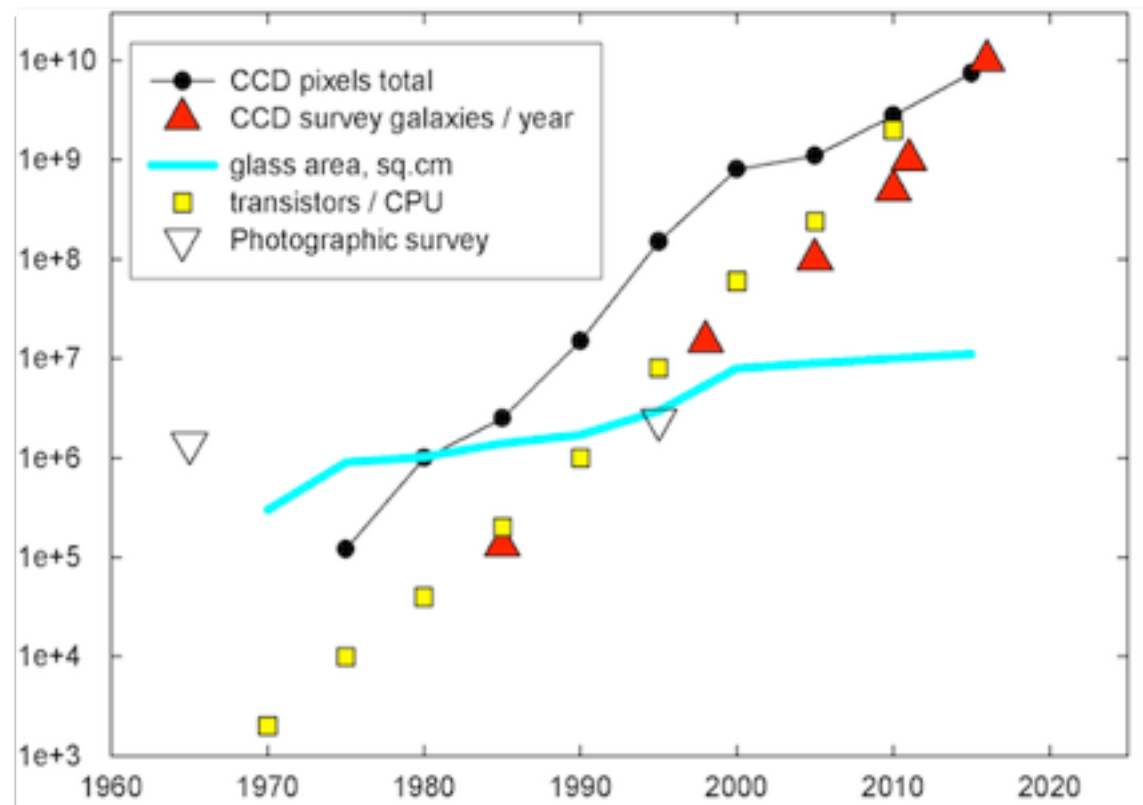
2.1. Рентгеновские двойные в Галактике

2.2. Нормальные и компактные галактики

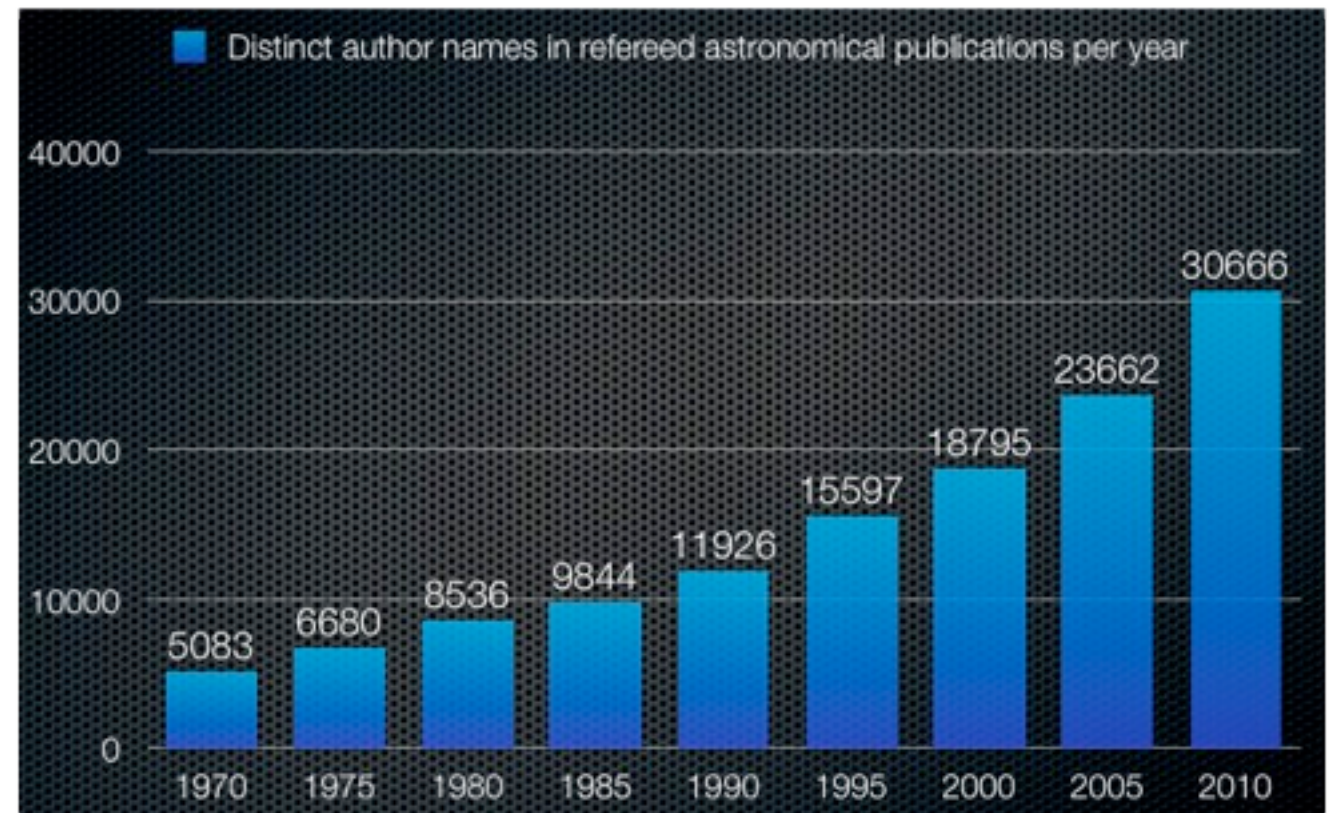
2.3. Редкие астрофизические объекты

3. Заключение

Экспоненциальный рост в астрономии



$t^* \sim 2$ года

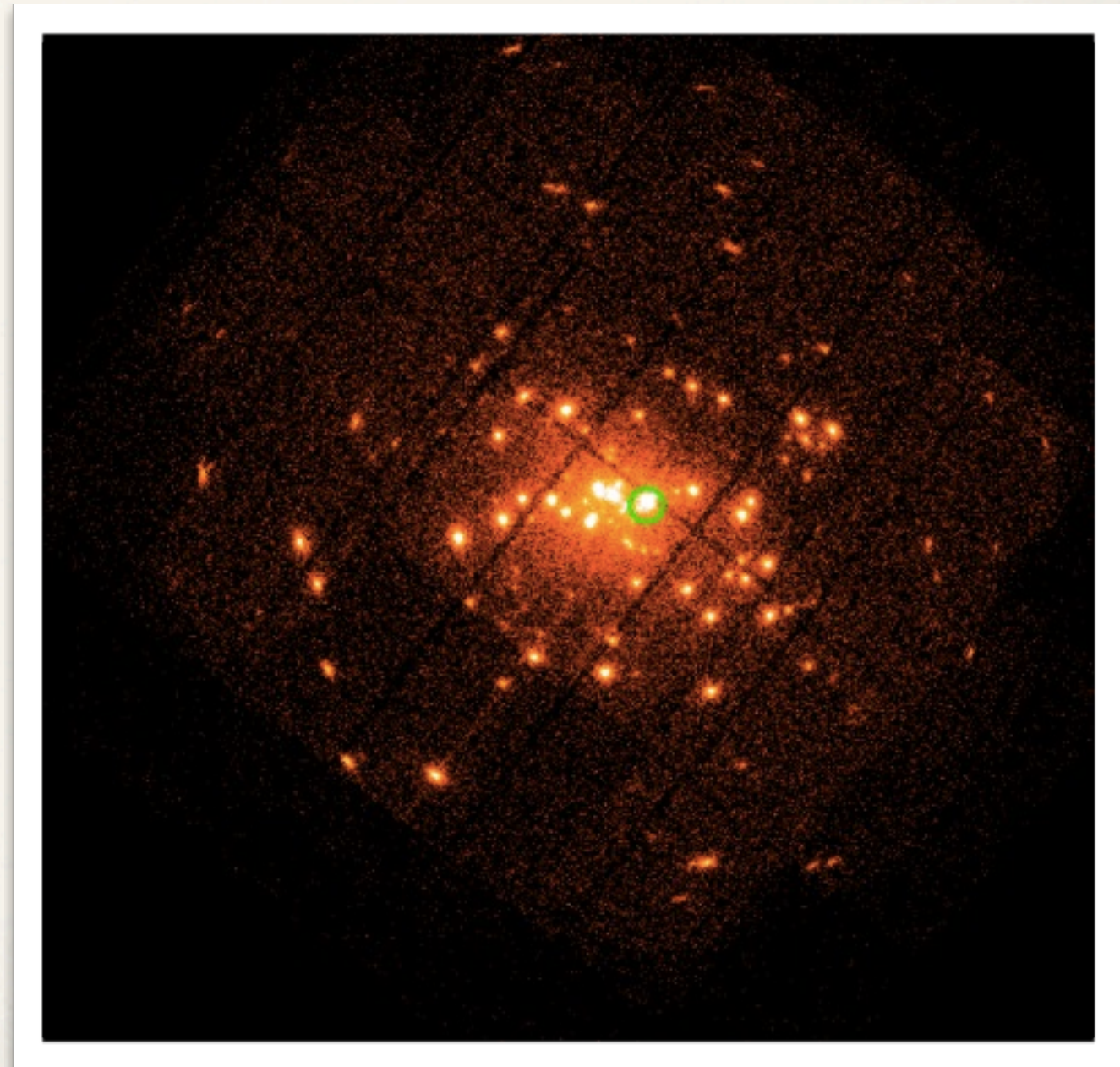


$t^* \sim 15$ лет

экспонента $2^{t/t^*}$

Data science

- ❖ Цель — упорядочить экспоненциальный рост данных
- ❖ Виртуальная Обсерватория
- ❖ *XMM-Newton*:
1 изученный объект на 70 зафиксированных
- ❖ Поиск возможностей в данных



Методическая часть

- ❖ Создание каталога RCSED: распределения энергии в спектрах галактик, свойства звездных населений — 1 млн. объектов
- ❖ Создание крупнейшего каталога рентгеновских источников 3XMM (DR5 и DR6) — 500 тыс. объектов

Каталог галактик RCSED: мультиволновой подход

- ❖ В оптическом диапазоне существуют хорошо откалиброванные модели галактик (химическая эволюция, звездные населения)
- ❖ Ближний ИК-диапазон имеет меньшую чувствительность к возрасту галактик и к эффектам поглощения пылью, так что оценки звездных масс делать гораздо проще
- ❖ УФ-диапазон очень чувствителен даже к малым количествам молодых звезд, что позволяет изучать историю звездообразования в галактиках

Каталог галактик RCSED: используемые данные

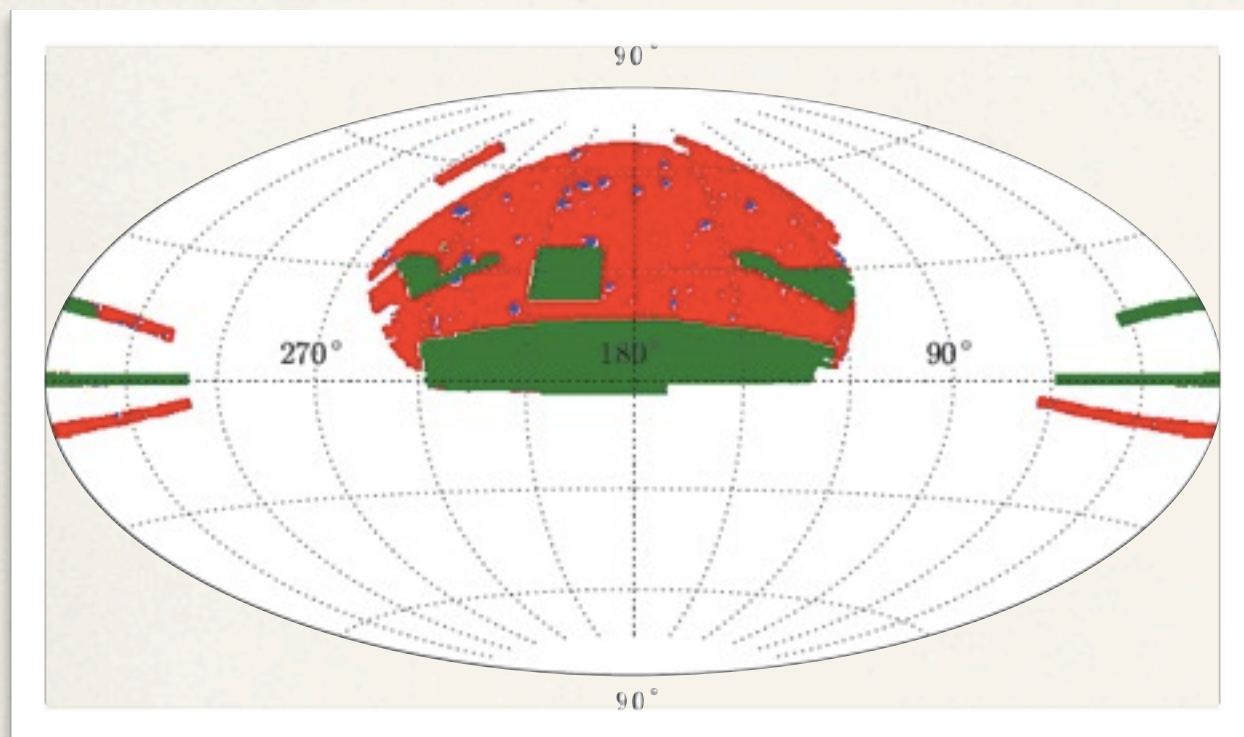
1. **SDSS** – обзор четверти неба в 5 оптических цветах + около миллиона спектров звезд, галактик и квазаров
2. **GALEX** – спутник, производящий обзор всего неба в двух УФ-полосах
3. **UKIDSS** – обзор четверти неба в 4 ИК-полосах, проведенный на 4-м телескопе UKIRT (Мауна-Кеа)

Все данные (изображения и каталоги) публично доступны

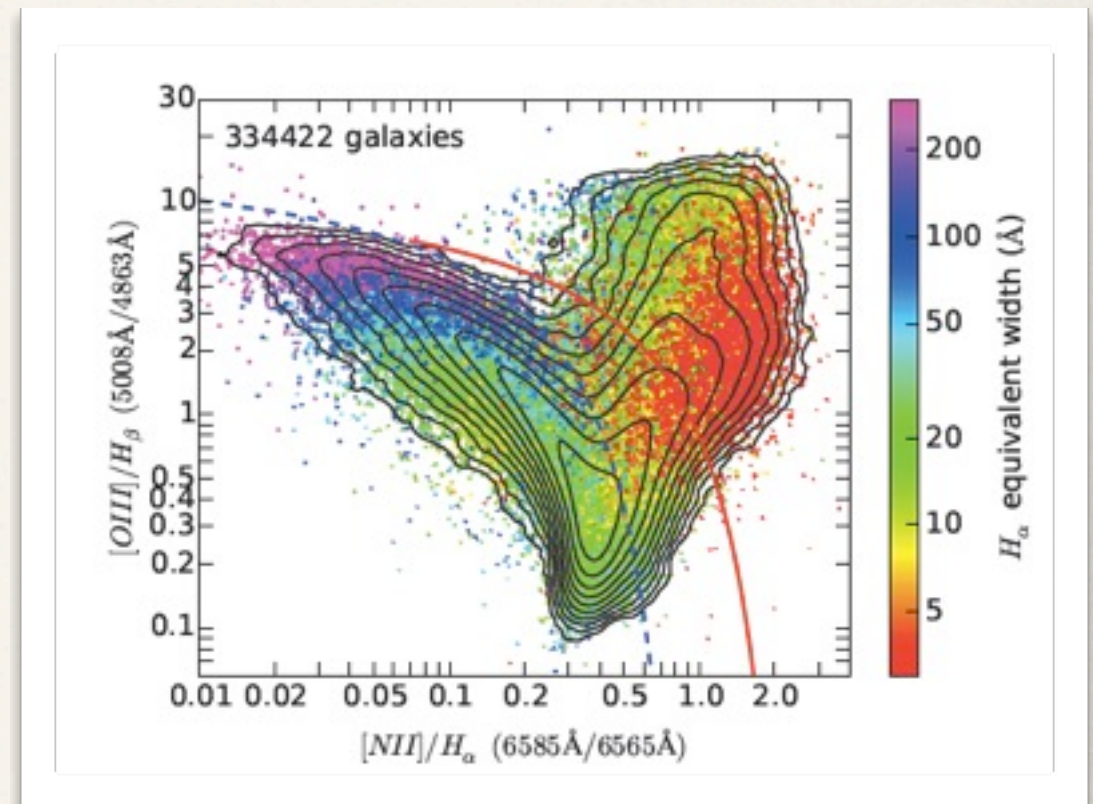


RCSED

карта неба



ВРТ диаграмма



 RCSED

[Home](#) [Catalog](#) [Services](#) [Articles](#) [About](#)

Reference Catalog of galaxy SEDs

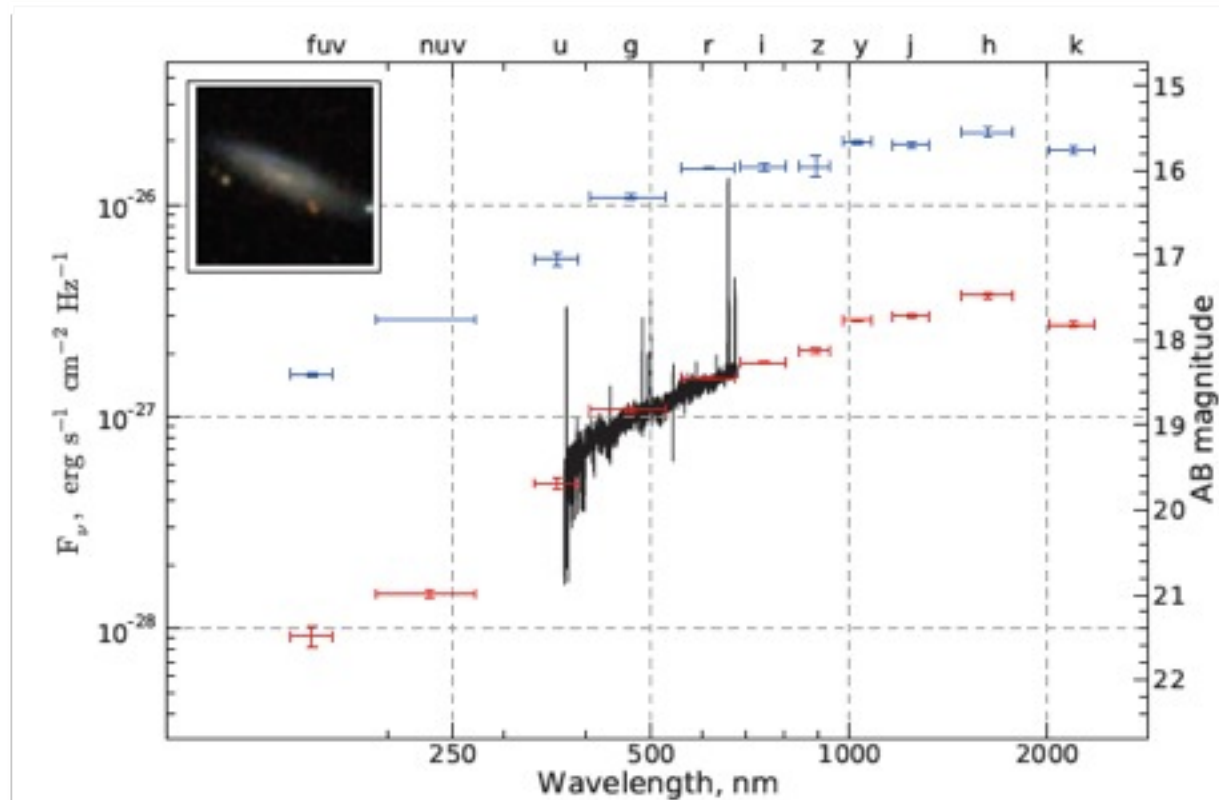
Type search query. This could be anything: object name such as NGC 4889, coordinates: 195.034 27.977, boolean expression: objid = 587741722823819274, cone search: cone('13:00:08 +27:58:37', '30arcmin').

[Show query language](#)

rcsed.sai.msu.ru

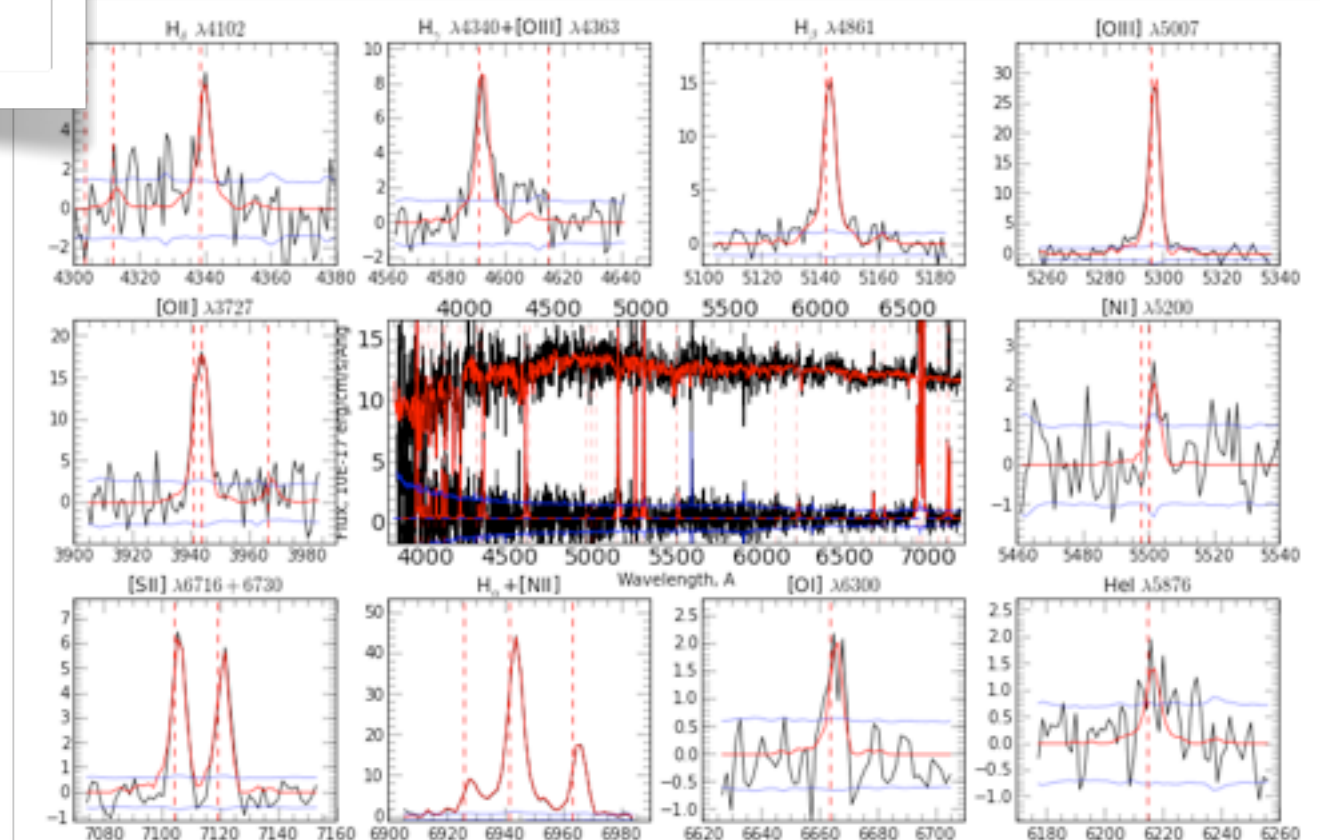


RCSED



спектр + фотометрия

ЭМИССИОННЫЕ ЛИНИИ

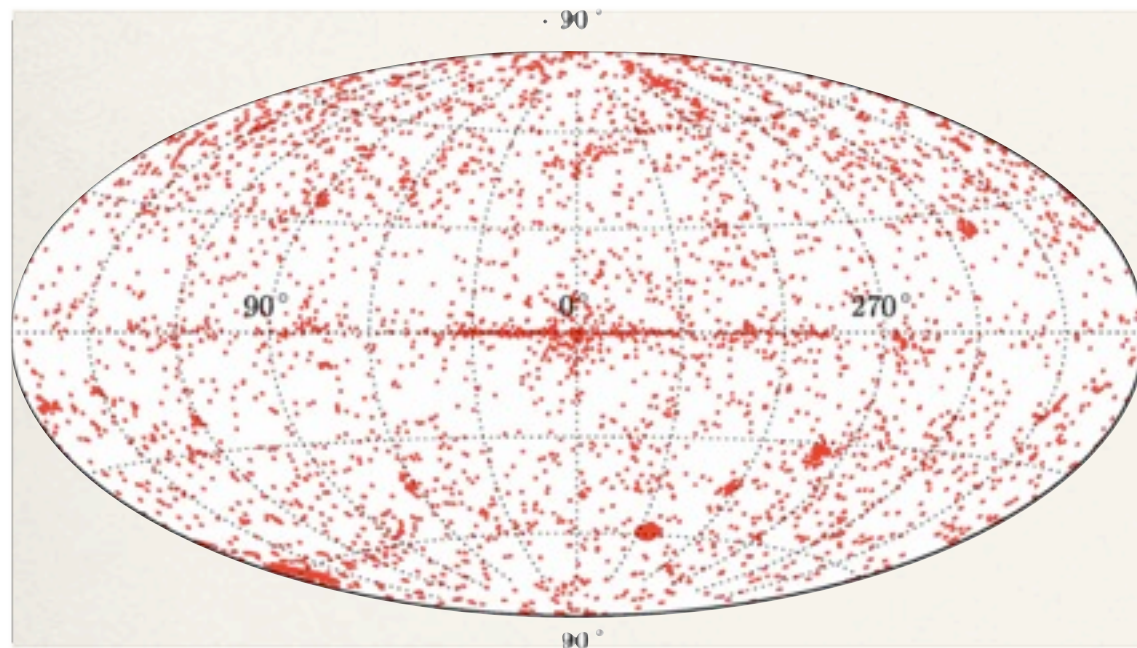


Каталог 3XMM (DR5, DR6)

- ❖ Публично доступные данные наблюдений обсерватории XMM-*Newton* с 2000 по 2015 годы
- ❖ Обработка наблюдений – консорциум XMM SSC
- ❖ *Компиляция каталога из обработанных данных наблюдений + веб-приложение*
- ❖ DR6: 9160 наблюдений → 678 680 обнаружений 468 440 уникальных объектов



Каталог 3XMM (DR5, DR6)



2.5% неба

XMM-NEWTON SURVEY SCIENCE CENTRE

cone('M31', '1deg') and sc_det_ml > 800 **SEARCH**

Search the XMM-Newton source catalog. Query can be any column name and constraint on its value glued by AND/OR with another constraint. Column name can be: SC_RA, SC_DEC, SC_POSERR, SC_DET_ML, SC_EXTENT, SC_FVAR, SC_EP_A_FLUX and others.

Example: sc_sum_flag in [0, 1] and is_agn = true [Show query language](#)

NEWS

28 Apr 2015 3XMM-DR5 and this website is officially public

WEBSITE OVERVIEW

This website provides experimental access to the XMM-Newton source catalog 3XMM-DR5 and some of its associated data products. Launched in 1999, the XMM-Newton satellite is the major European X-ray observatory.

xmm-catalog.irap.omp.eu

XMM-NEWTON SURVEY SCIENCE CENTRE

is_agn = True and n_detections > 10 **SEARCH** [Show query language](#)

HOME CATALOG DIAGRAMS WEB SERVICES DOCS LINKS ABOUT

Search results > Source 200068101010002 > Detection 102064001010003 > Spectrum fitting

Direct spectrum plot url

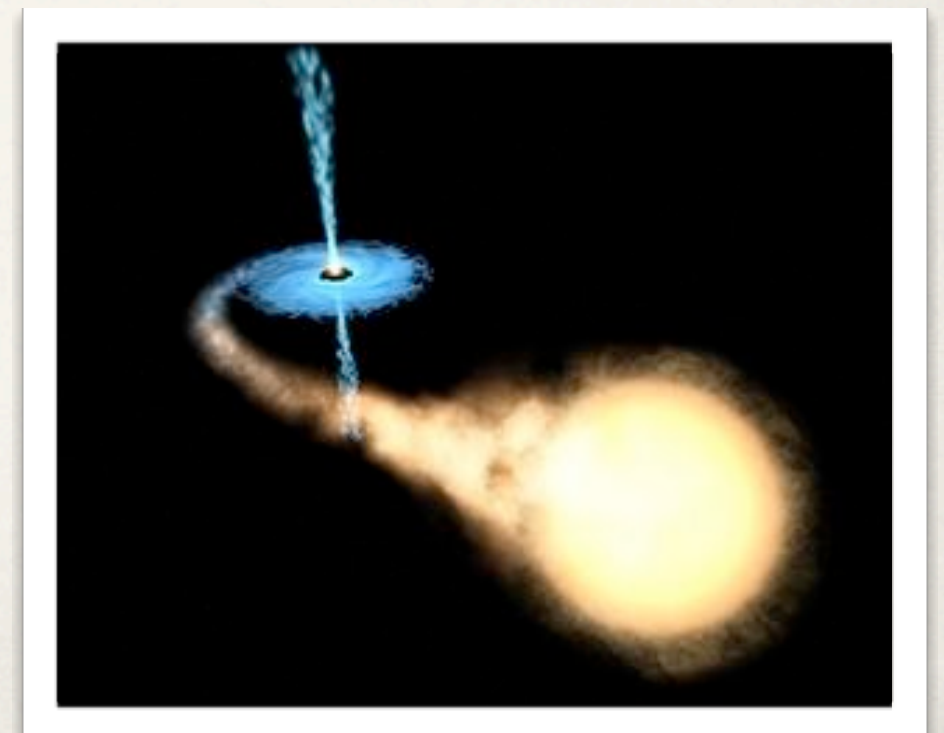
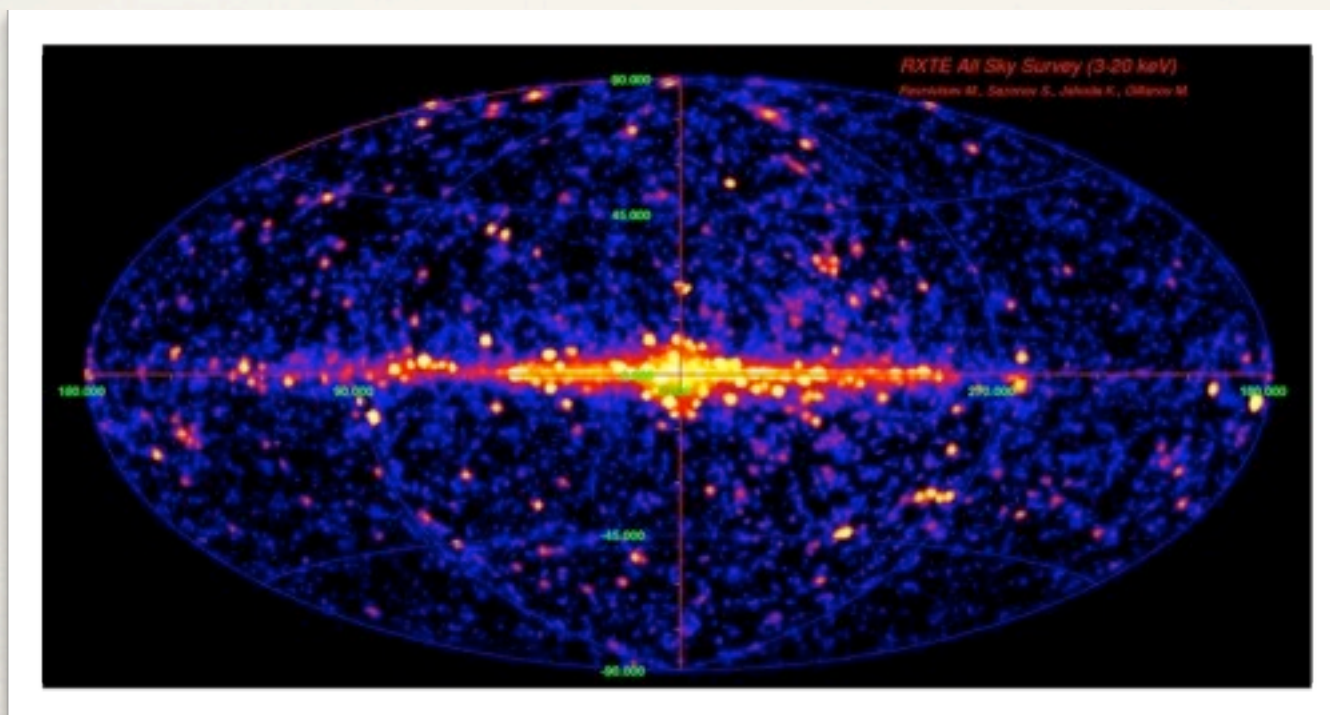
FitDataset = 1
Method = levmar
Statistic = chi2specvar
Initial fit statistic = 222.031
Final fit statistic = 22.0104 at function evaluation 46
Data points = 23
Degrees of freedom = 20
Probability [Q-value] = 0.339948
Bartlett statistic = 1.10042

Instrument: M1
Energy range min (in keV): 0.2
Energy range max (in keV): 10
Group counts (per bin): 20
Optimization: levmar
Statistics: chi2specvar
Model: phabs_pl

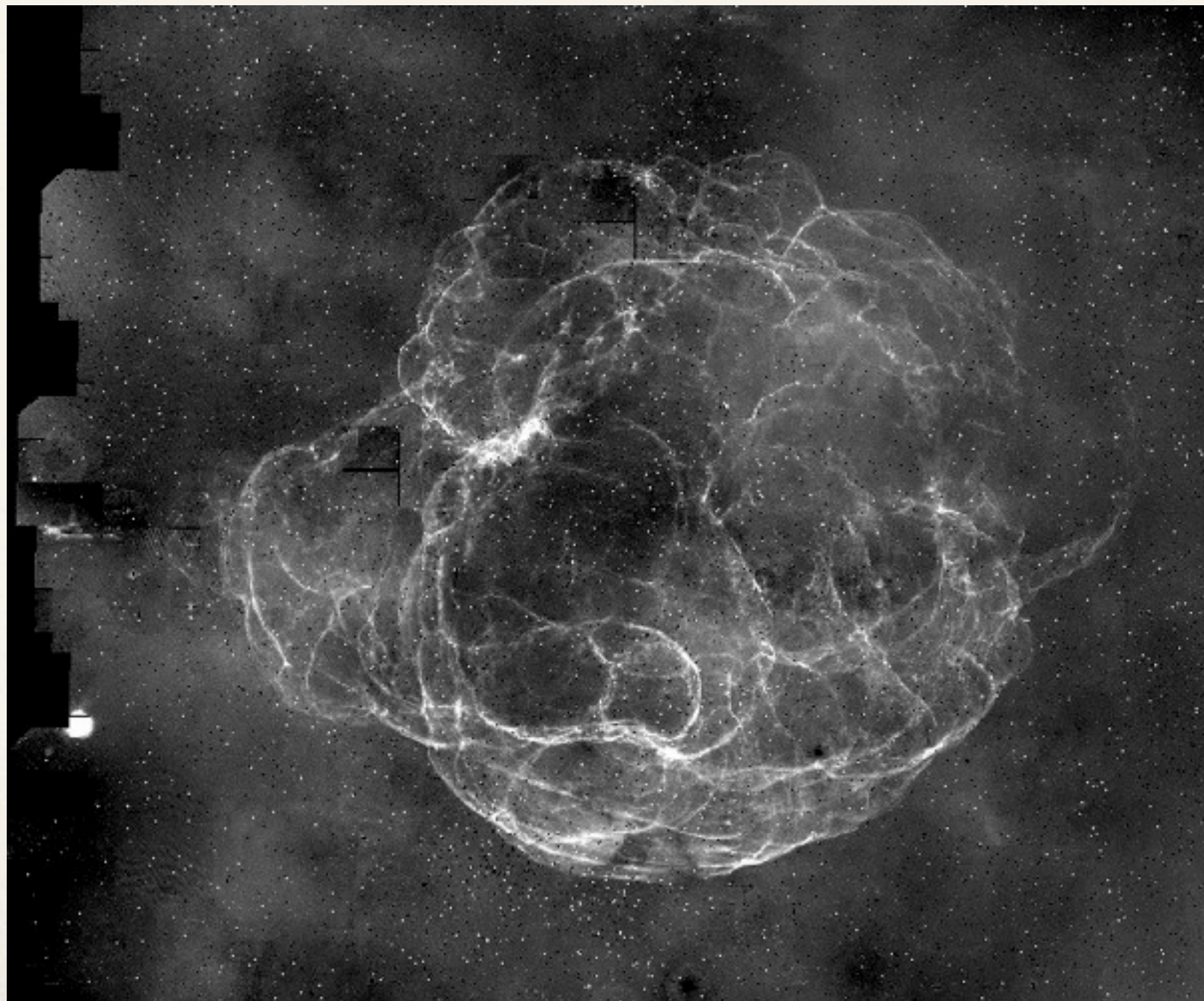
	value	min	max	frozen
nH	0.06684209550	0	100000	☐
Phoindex	1.27868586947	-2	9	☒
norm	0.00000346838	0	1e+24	☐

Fit spectrum [Spectral fitting docs](#)

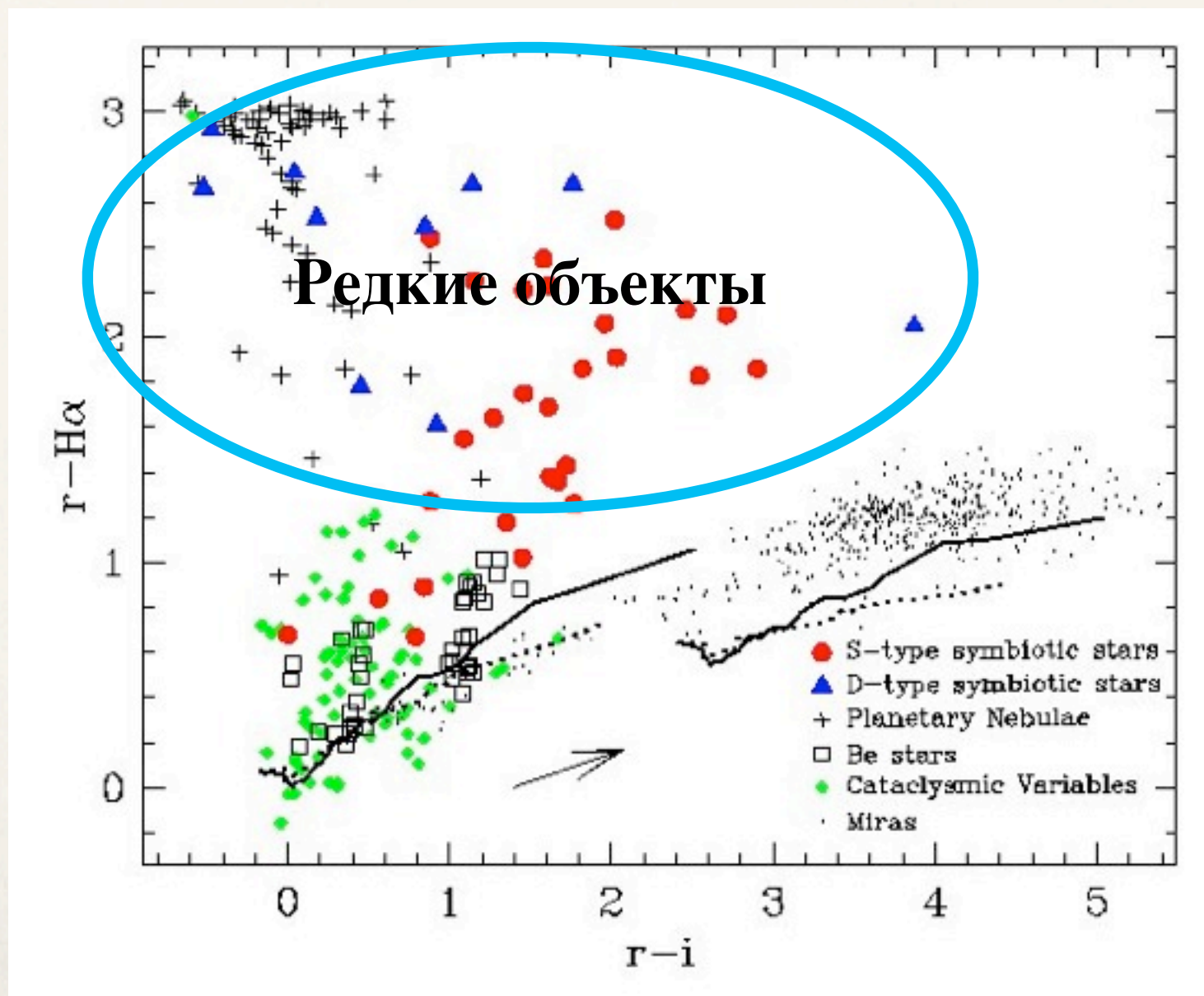
- Рентгеновские двойные системы (XRB)
 - По крайней мере один из компонентов – компактный объект (WD / NS / BH)
- Объекты открываются с рентгеновских спутников – часто низкое угловое разрешение ($1'$)
 - На оптических изображениях – сотни и тысячи объектов в пределах ошибок их координат
- Значительная часть этих объектов излучают в спектральных линиях водорода ($H\alpha$)



- Обзор IPHAS: **INT / WFC Photometric H α Survey**
плоскости Галактики, более 300+ миллионов объектов
со звездными величинами r , i и H α

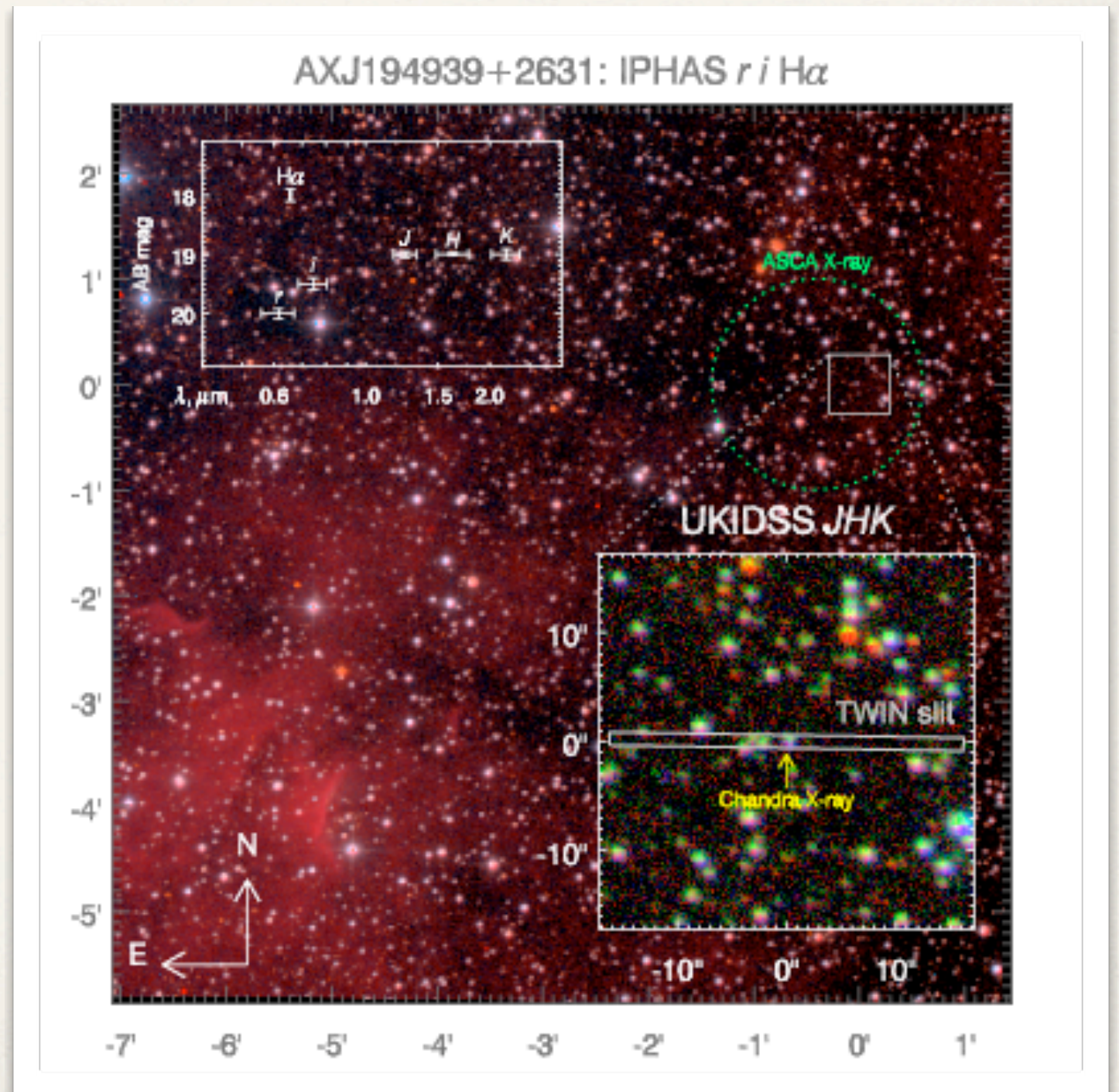


- Рентгеновский обзор плоскости Галактики ASCA в диапазоне 7–10 keV, ~100 неотожествленных источников
- Оптические данные: двухцветная диаграмма

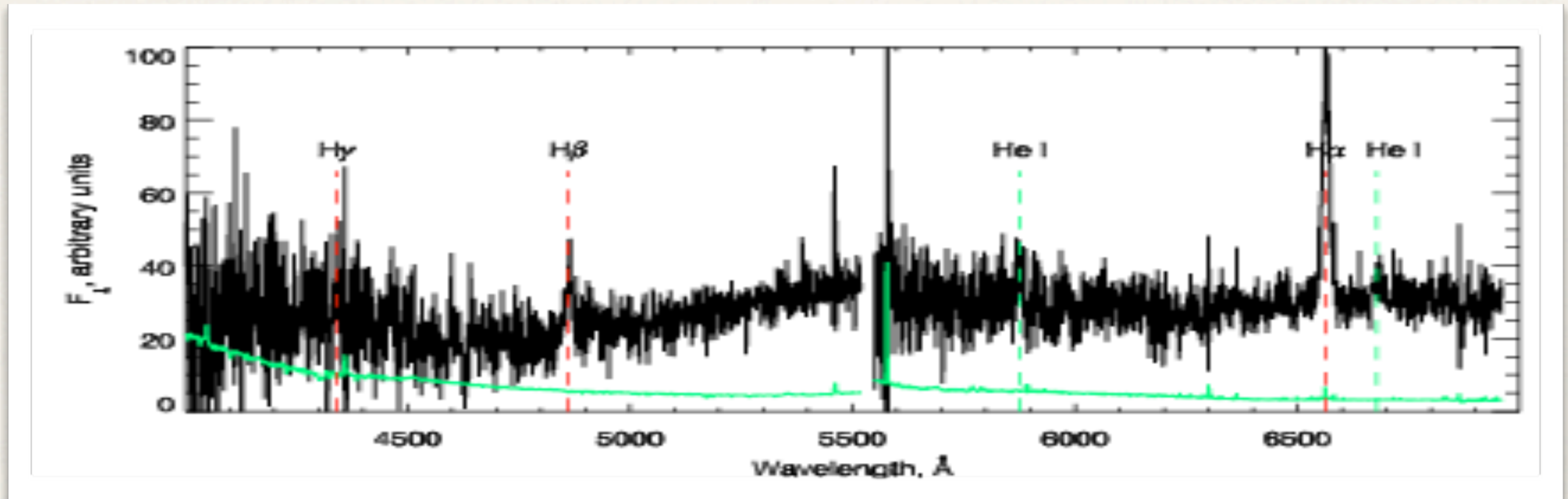


Рентгеновские двойные в Галактике

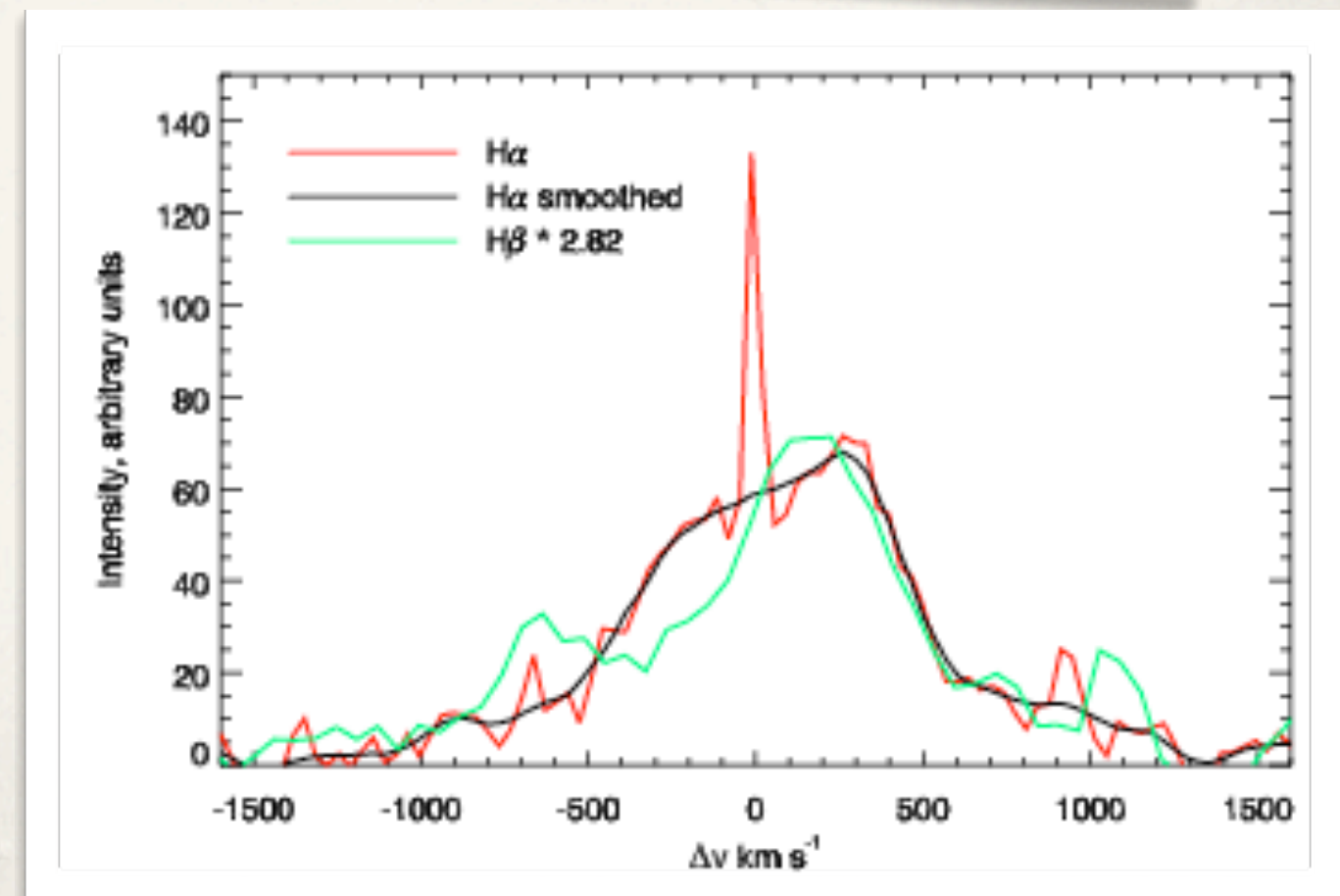
- Что мы видим?
 - 1 источник H α
- Что дальше?
 - спектроскопия



- Спектр с 3.5-м телескопа Calar-Alto



- Катаклизмическая переменная

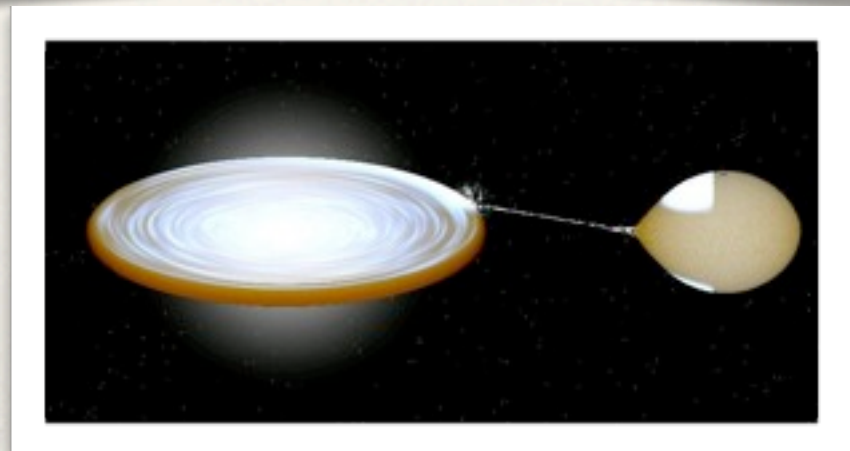
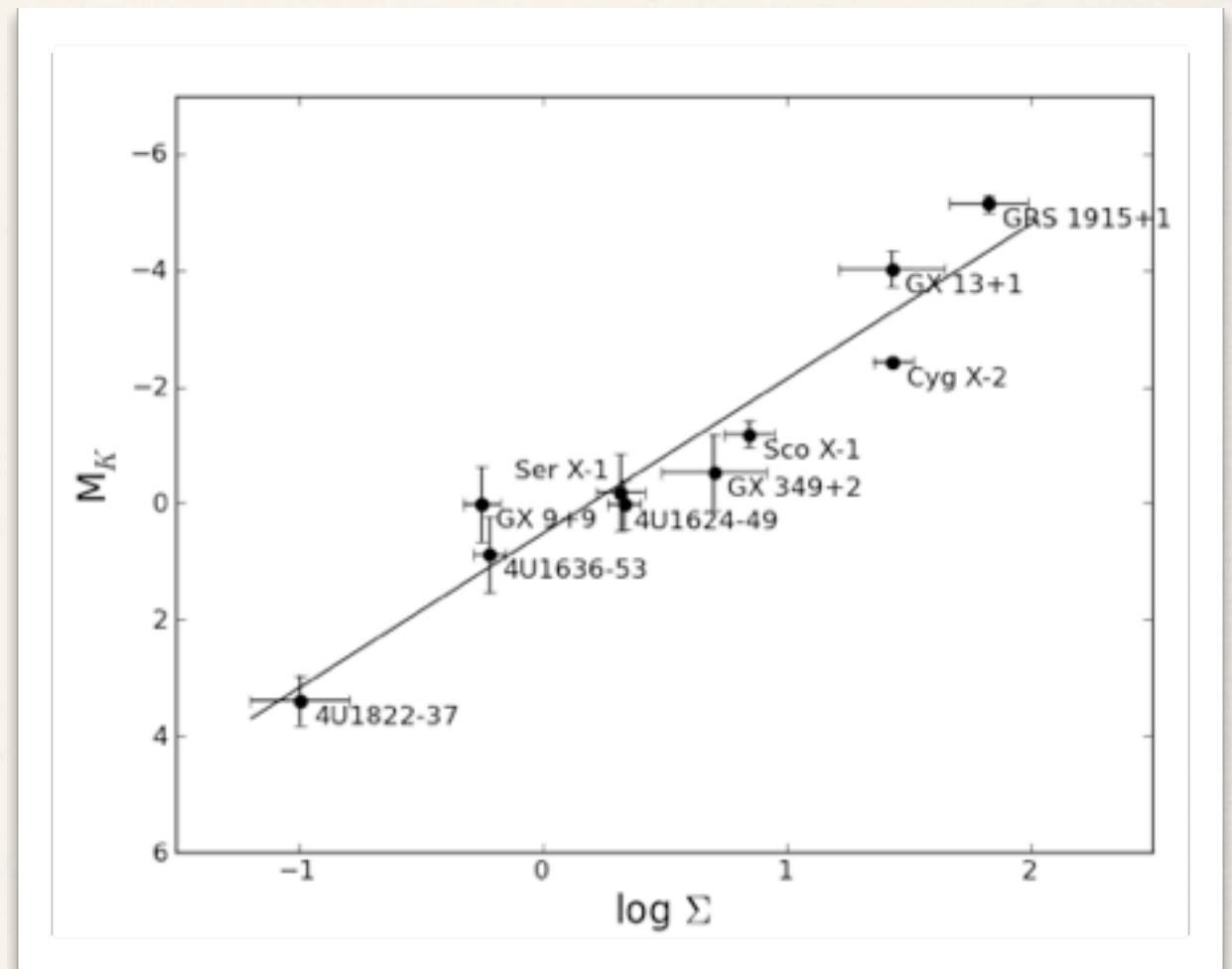


Рентгеновские двойные в Галактике

Корреляция ИК-излучения аккреционного диска с орбитальным периодом

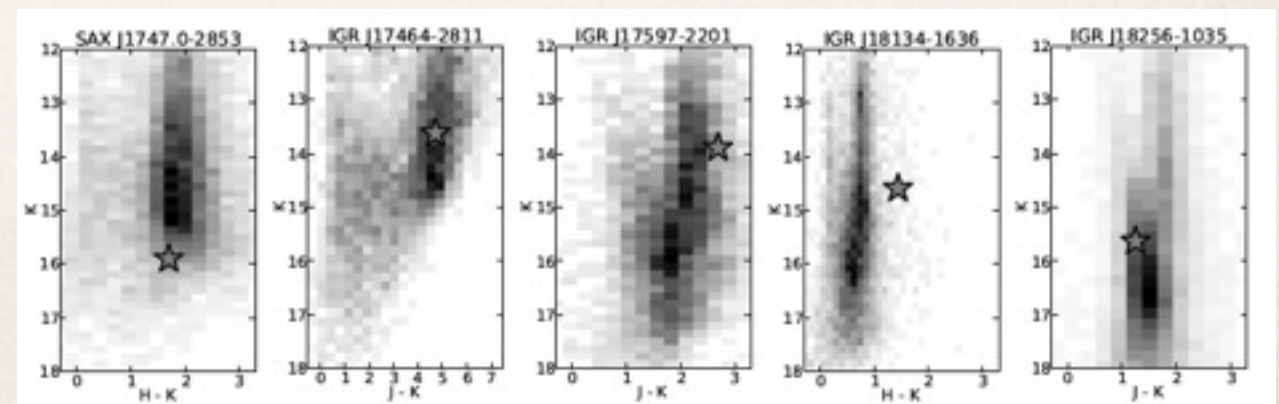
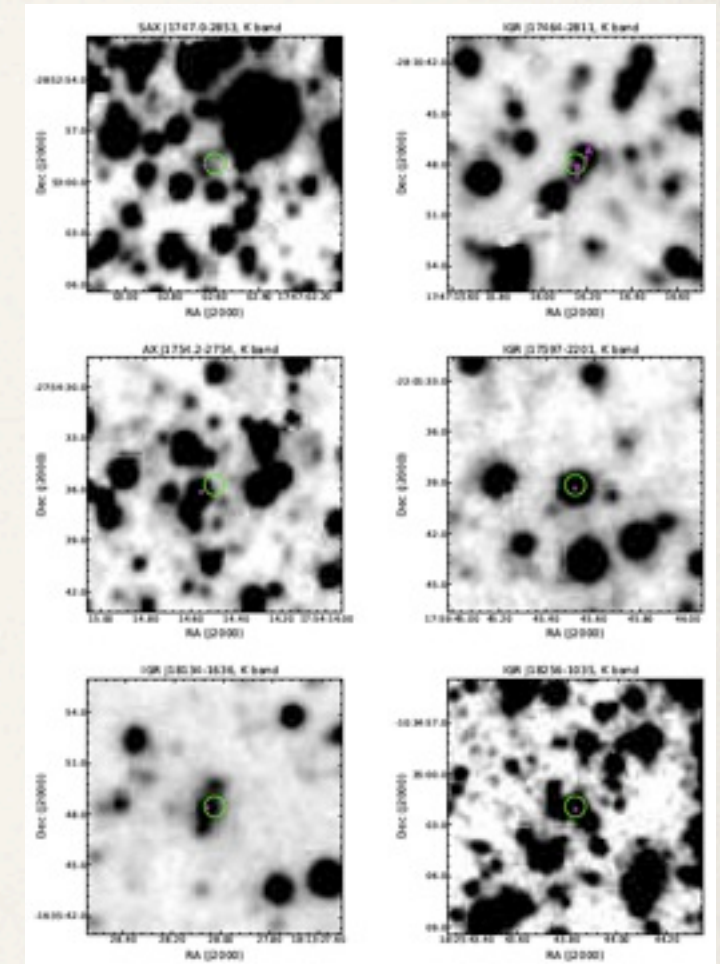
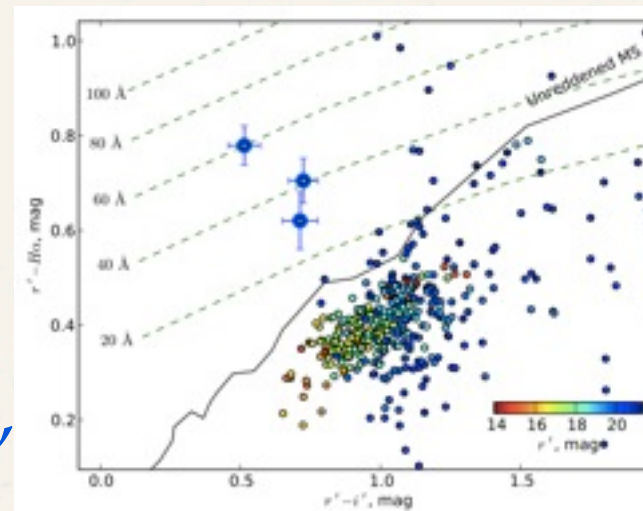
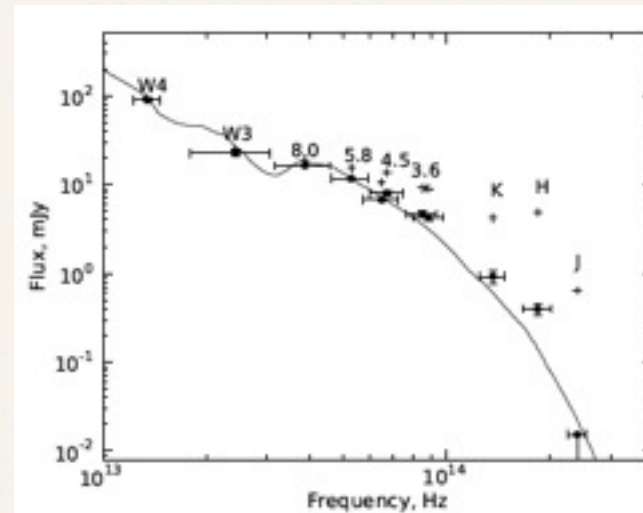
$$\Sigma_K = (L_X/L_{\text{Edd}})^{0.29} P(h)^{0.92}$$

*Revnivtsev, Zolotukhin+
2012 (MNRAS)*



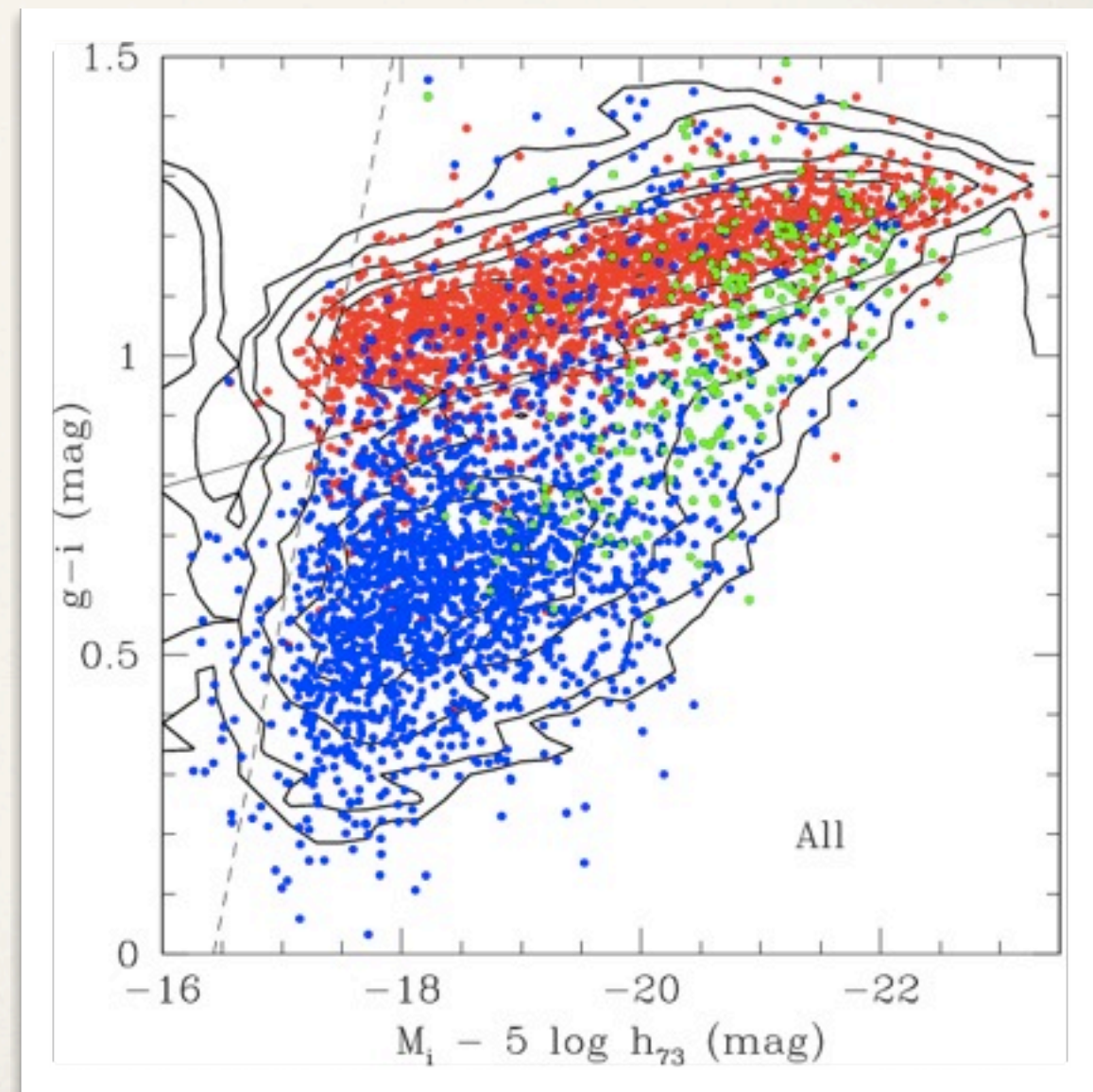
Рентгеновские двойные в Галактике

Оптические отождествления
(ограничения на природу 13
объектов: компактная двойная $P < 3h$, симбиотическая LMXB) +
методы многоволновой
классификации рентгеновских
источников *Zolotukhin &
Revnivtsev 2011, 2015 (MNRAS),
Zolotukhin & Chilingarian 2011
(A&A), Zolotukhin, Shakura+
2010 (MNRAS)*

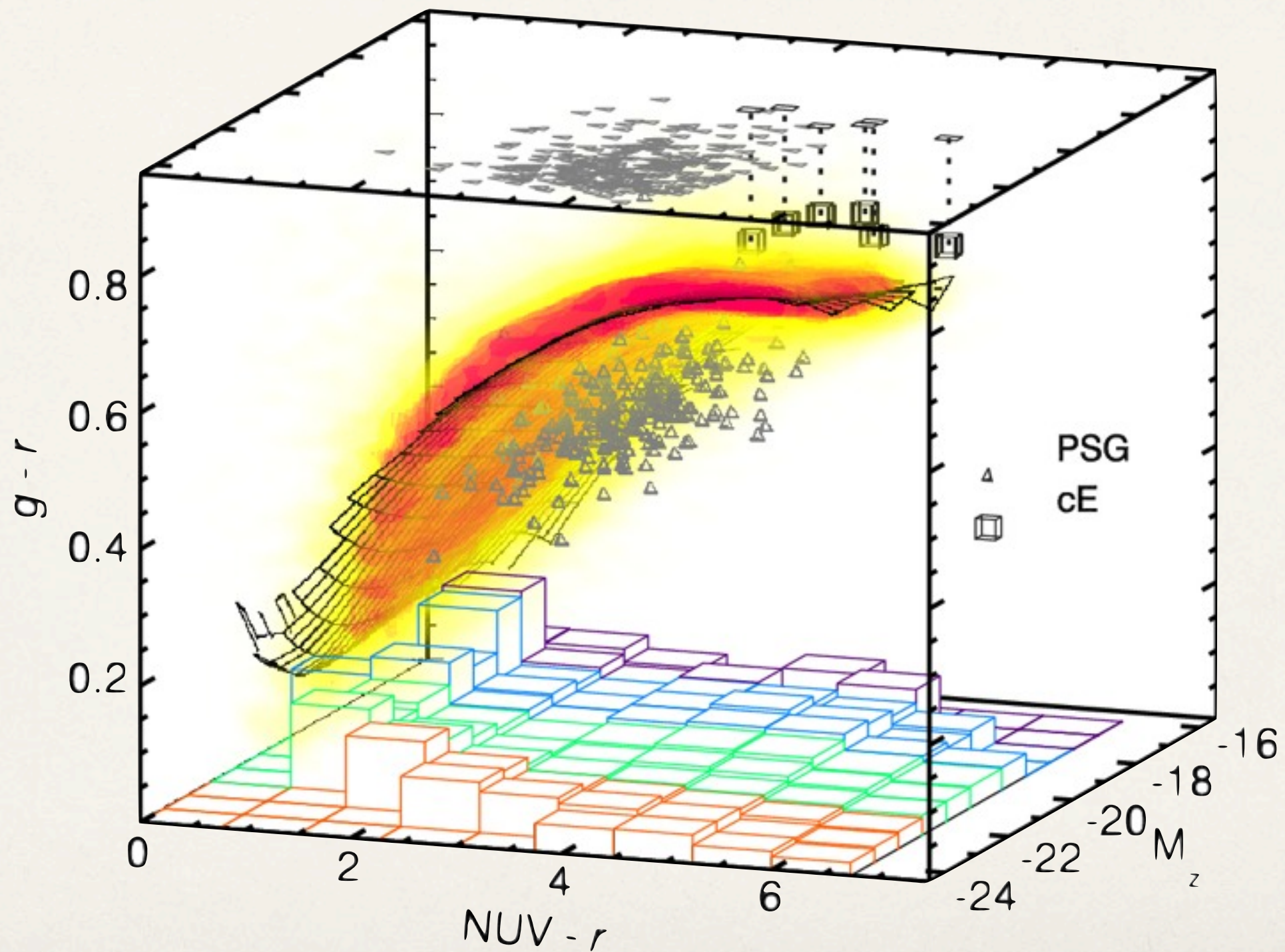


Универсальное фотометрическое соотношение для галактик

- ❖ Стандартная диаграмма цвет-величина для цветов M_i vs $(g-i)$: мы видим “красную последовательность” и “синее облако”
- ❖ Но если мы добавим цвет $NUV-g$ как третье измерение, то обнаруживается замечательный результат: *в 3-мерном пространстве все галактики лежат на очень тесной зависимости* — мы видим поверхность. Этот результат имеет важное значение для исследования галактик на средних красных смещениях

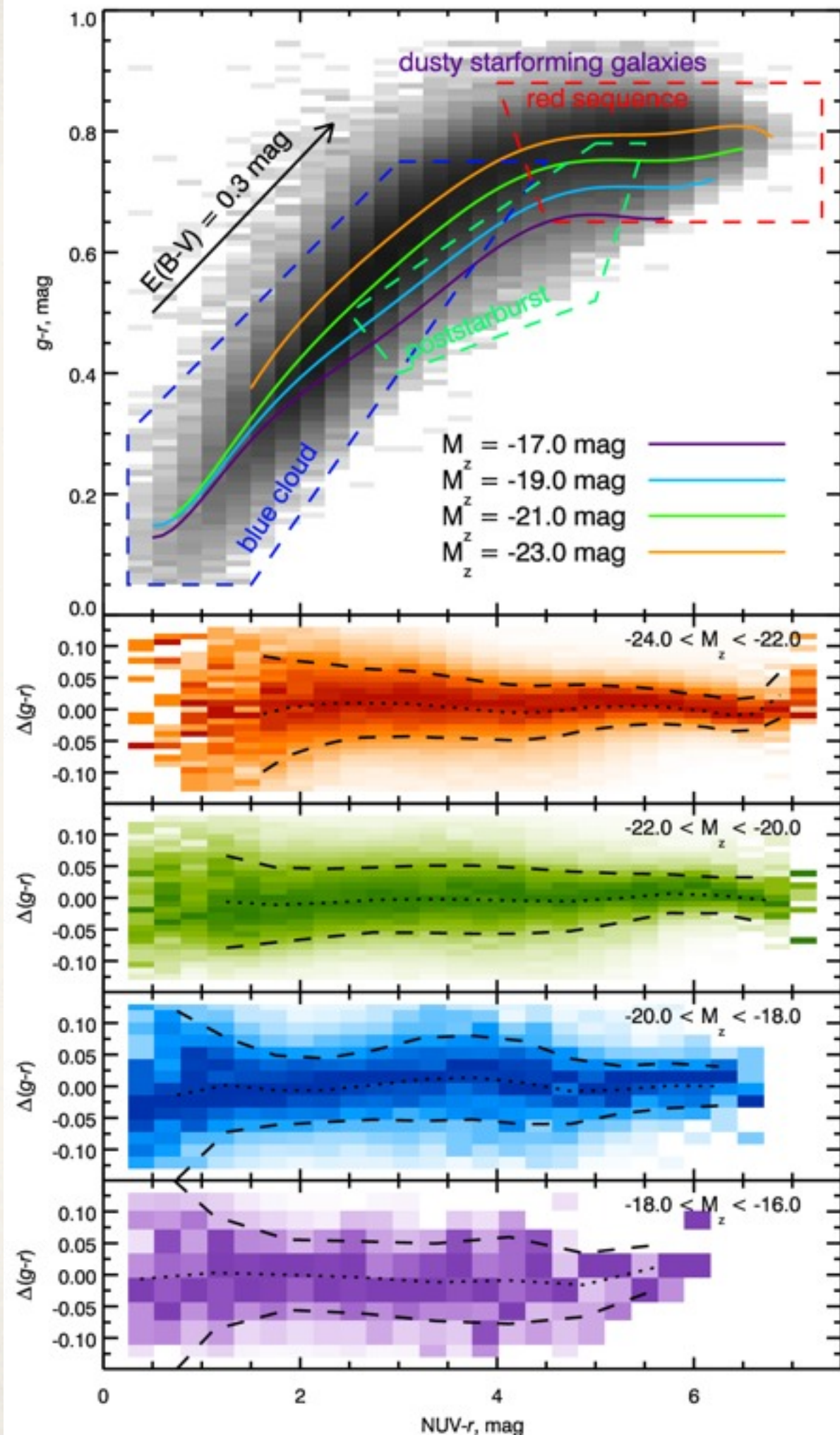


Поверхность в 3D



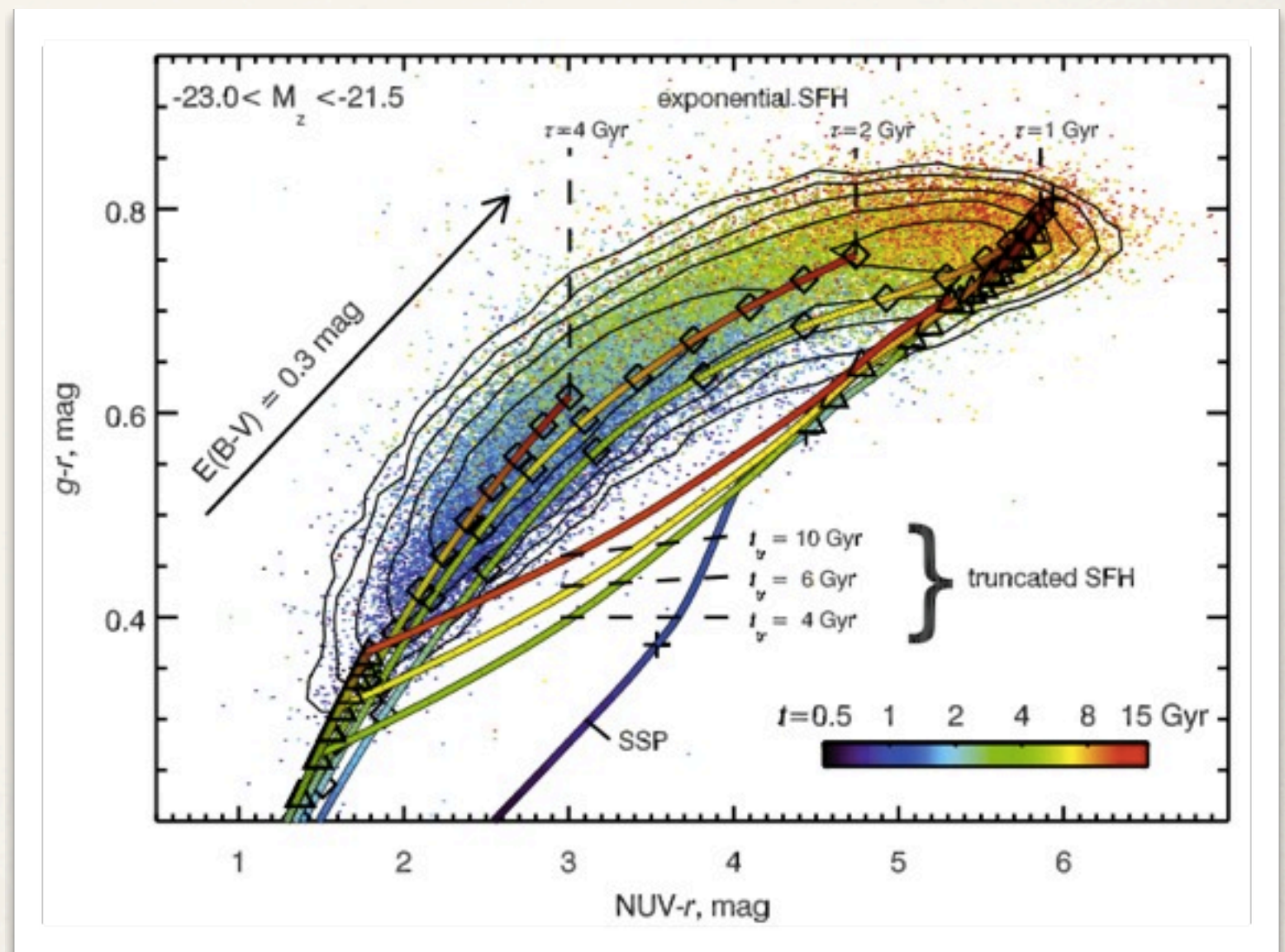
Проекция на цветовую плоскость

- ❖ Соотношение очень тесное
- ❖ Мы его можем описать с помощью поверхности низкого порядка
- ❖ Отклонения цветов галактик от поверхности всего около 0.03^m для красных и 0.07^m для синих галактик
- ❖ Данное соотношение становится самой тесной фотометрической зависимостью для галактик, к тому же, соблюдаемую галактиками всех типов



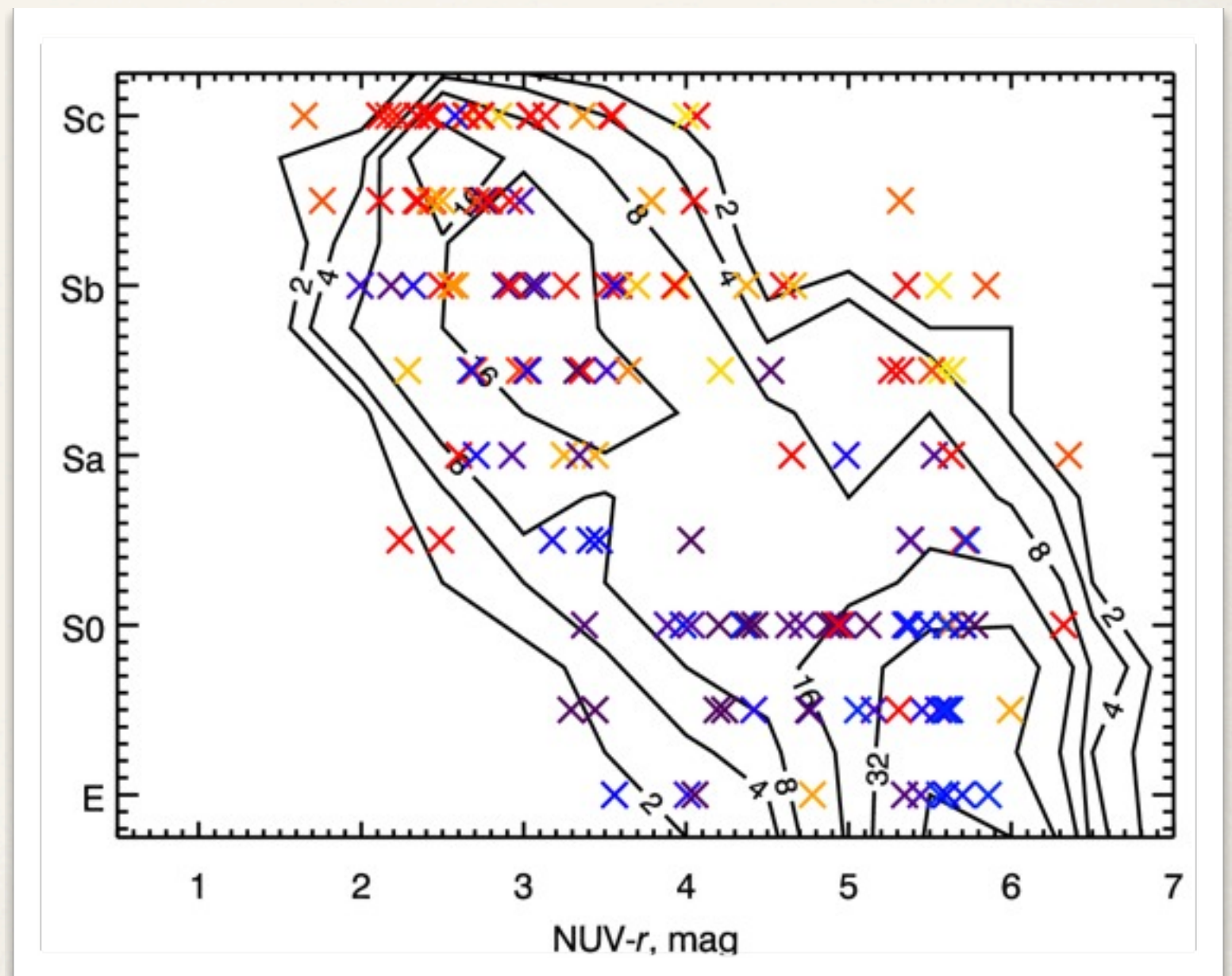
Проекция на цветовую плоскость

- ❖ Модели с экспоненциально затухающим звездообразованием показывают, что эволюция происходит вдоль соотношения



Связь с морфологическими типами

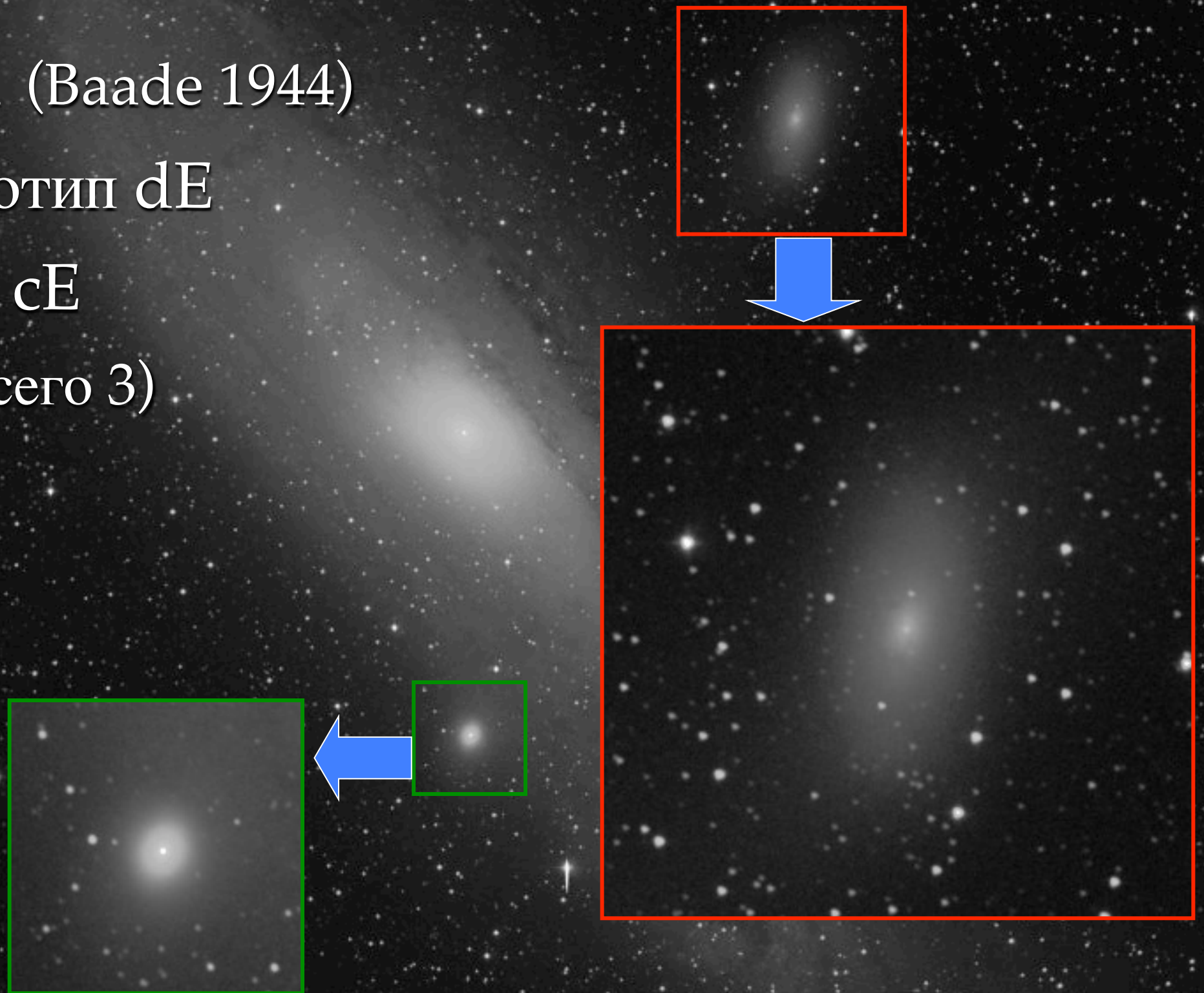
- ❖ УФ-цвет является очень хорошим индикатором морфологии – по нему практически идеально определяется хаббловский тип галактики



Компактные эллиптические галактики (сЕ)

Спутники М31 (Baade 1944)

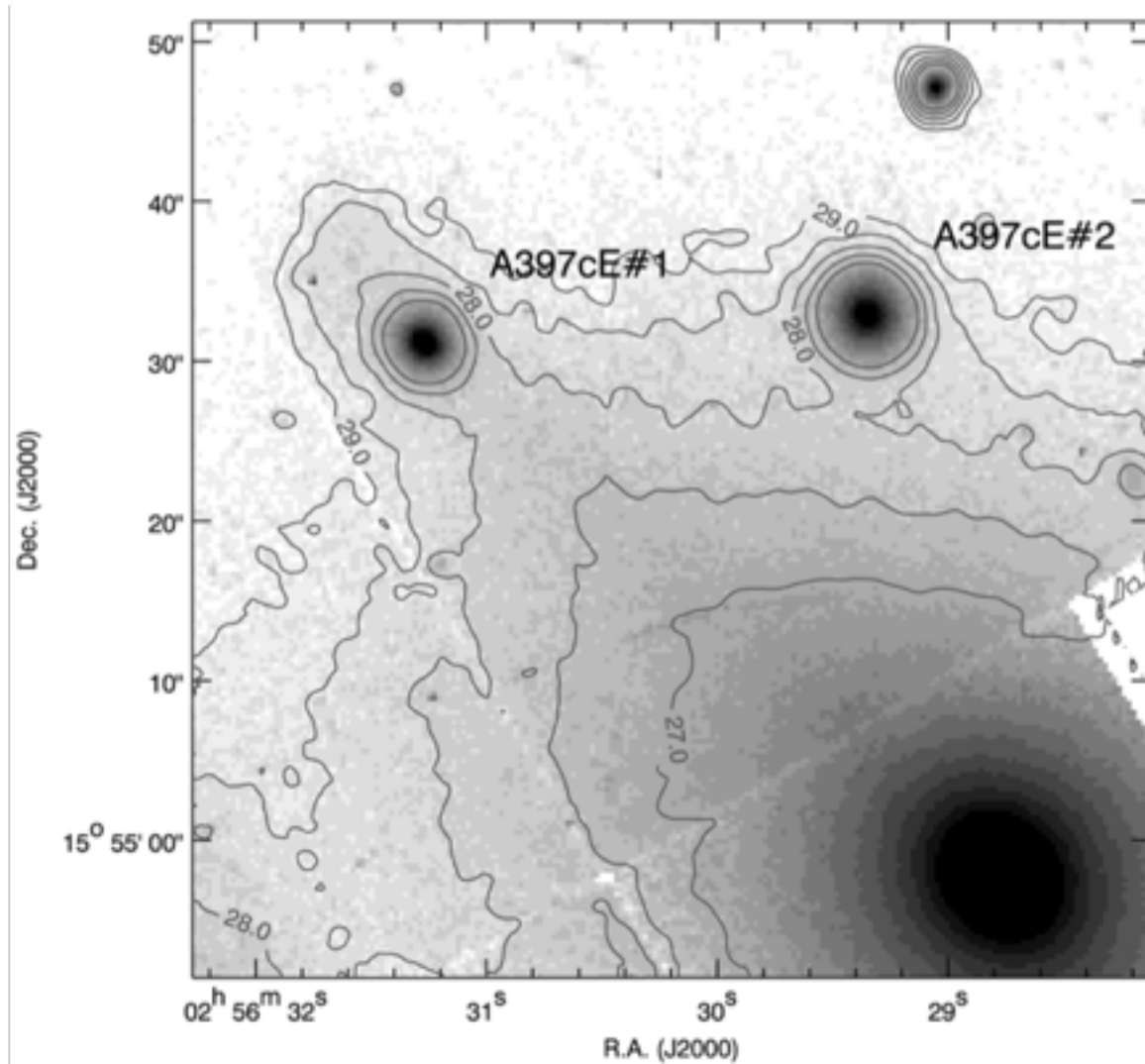
- NGC205: прототип dE
- М32: прототип сЕ
- очень редки (всего 3)



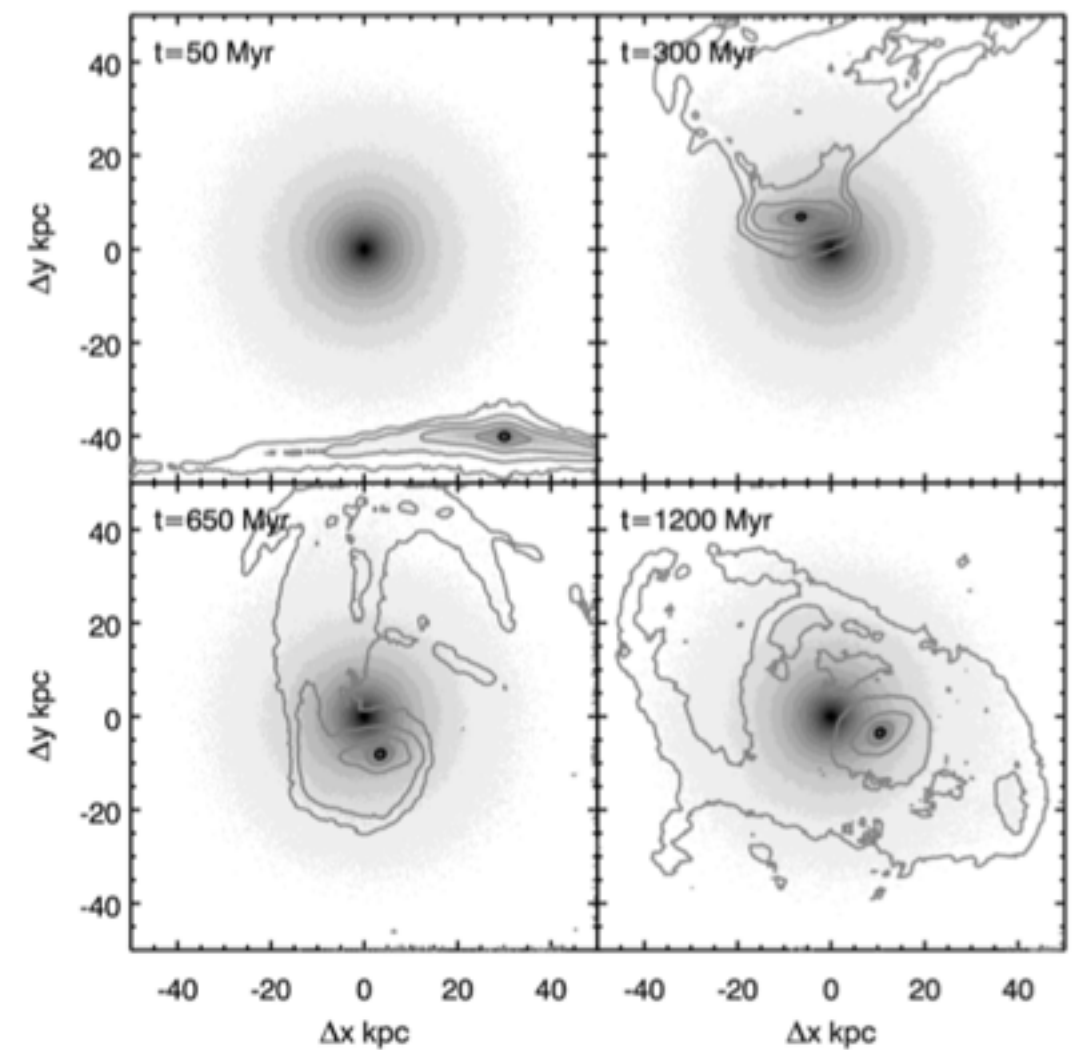
Компактные эллиптические галактики

- ❖ Вопрос: как образовались эти галактики и как они эволюционируют?
- ❖ Рабочая гипотеза: обдирание более крупных галактик приливными силами в центрах скоплений
 - ❖ Некоторые из найденных в [Chilingarian et al. \(2009\)](#) галактик имеют приливные “хвосты”
 - ❖ Звездный состав всех найденных галактик сильно отличается от стандартных карликовых галактик, зато похож на то, что мы видим в более массивных системах
- ❖ Как проверить?
 - ❖ Провести численное моделирование

Компактные эллиптические галактики



наблюдения



моделирование

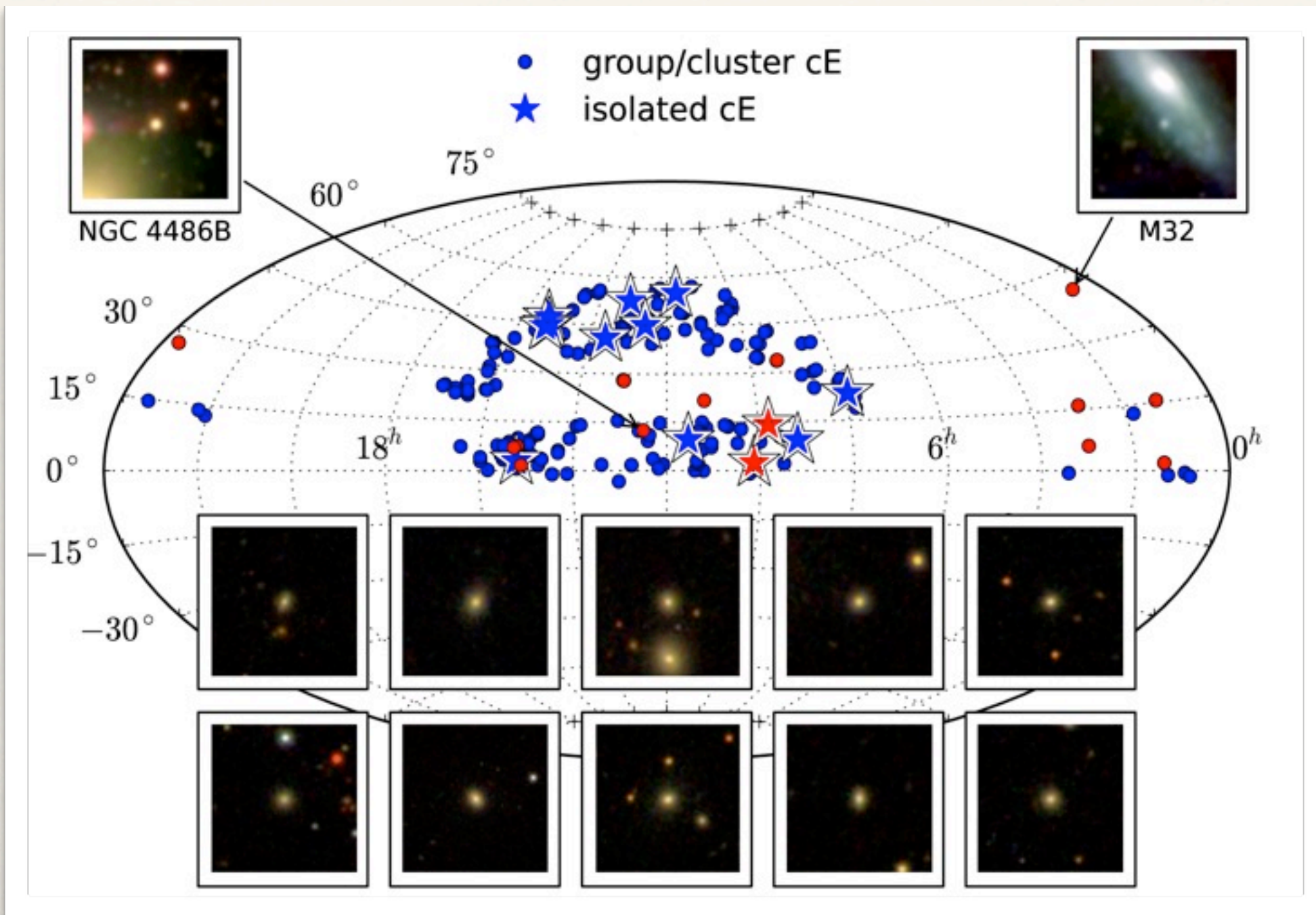
Компактные эллиптические галактики

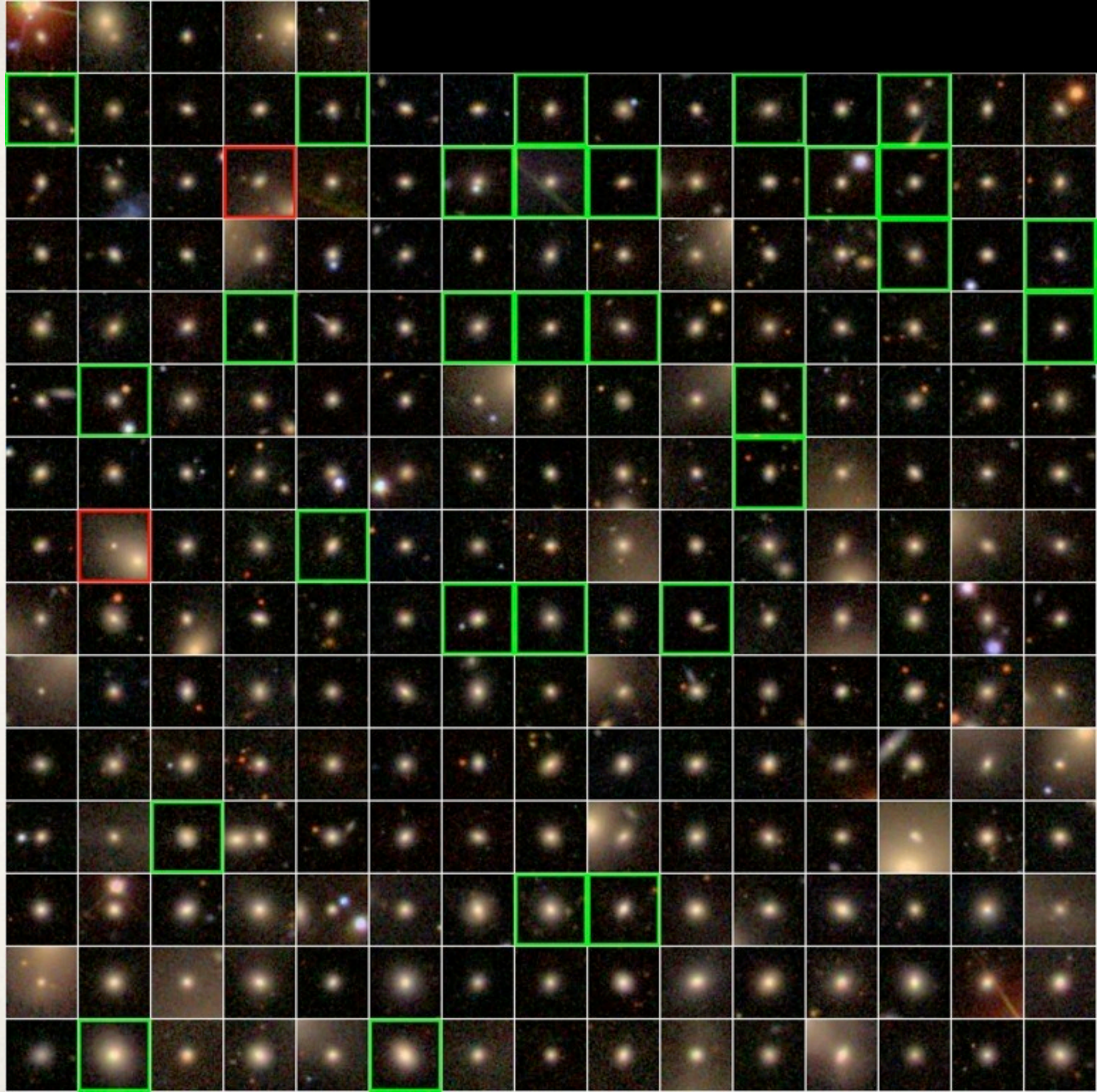
- ❖ После [Chilingarian et al. \(2009\)](#) класс компактных эллиптических галактик из “уникальных” превратился в “типичных при соблюдении ряда условий”
- ❖ Было показано, что приливное обдирание играет важную роль в эволюции галактик в плотном окружении
- ❖ Работа стала первой, где была реализована цепочка ВО – наблюдения – моделирование. Данная схема может быть использована в любой области науки, где к данным предоставляется доступ в архивах
- ❖ Но в [Nuxor et al. \(2013\)](#) была открыта первая изолированная сЕ галактика!

Компактные эллиптические галактики — 2

- ❖ Автоматический анализ миллиона спектров SDSS
 - ❖ Только галактики со старыми звездами ($t_{\text{SSP}} > 4$ млрд. лет)
 - ❖ $(NUV-r) > 4^{\text{m}}$ или отсутствует в *GALEX*
 - ❖ Спектры без эмиссионных линий
- ❖ Добавим еще несколько критериев поиска
 - ❖ Объекты лежат над “поверхностью”
 - ❖ Малый размер: $R_e < 0.7$ кпк (либо звездообразные)
 - ❖ Высокая дисперсия скоростей звезд (Faber-Jackson)
 - ❖ Повышенное содержание металлов в звездах
- ❖ Затем проверка, чистка, отождествление хост-галактик в NED, VizieR, SIMBAD, HyperLeda...

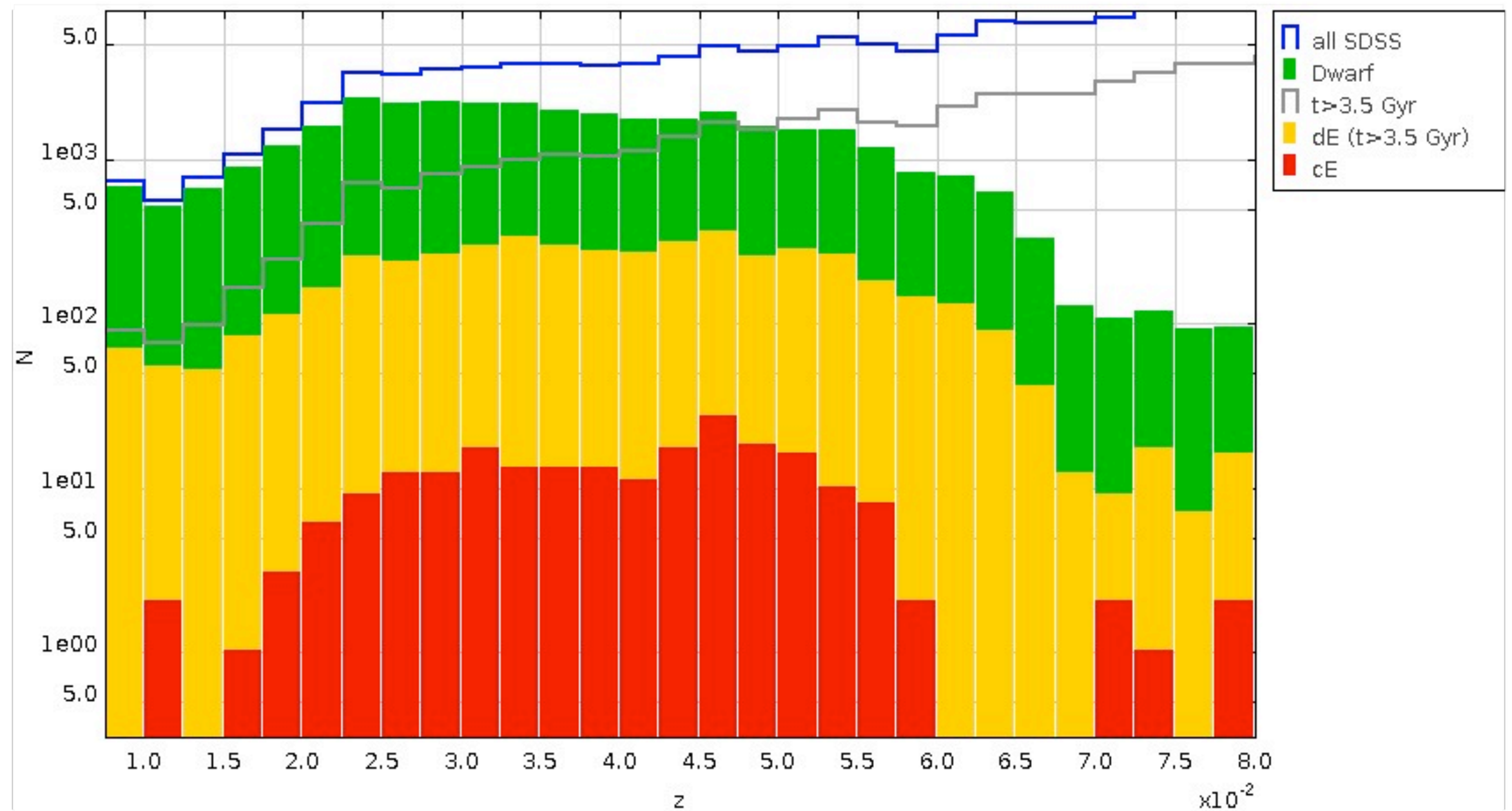
Компактные эллиптические галактики: известные и новые





Распределение по красным смещениям

Нет зависимости от красного смещения, частота встречаемости
~0.5% среди галактик низкой светимости

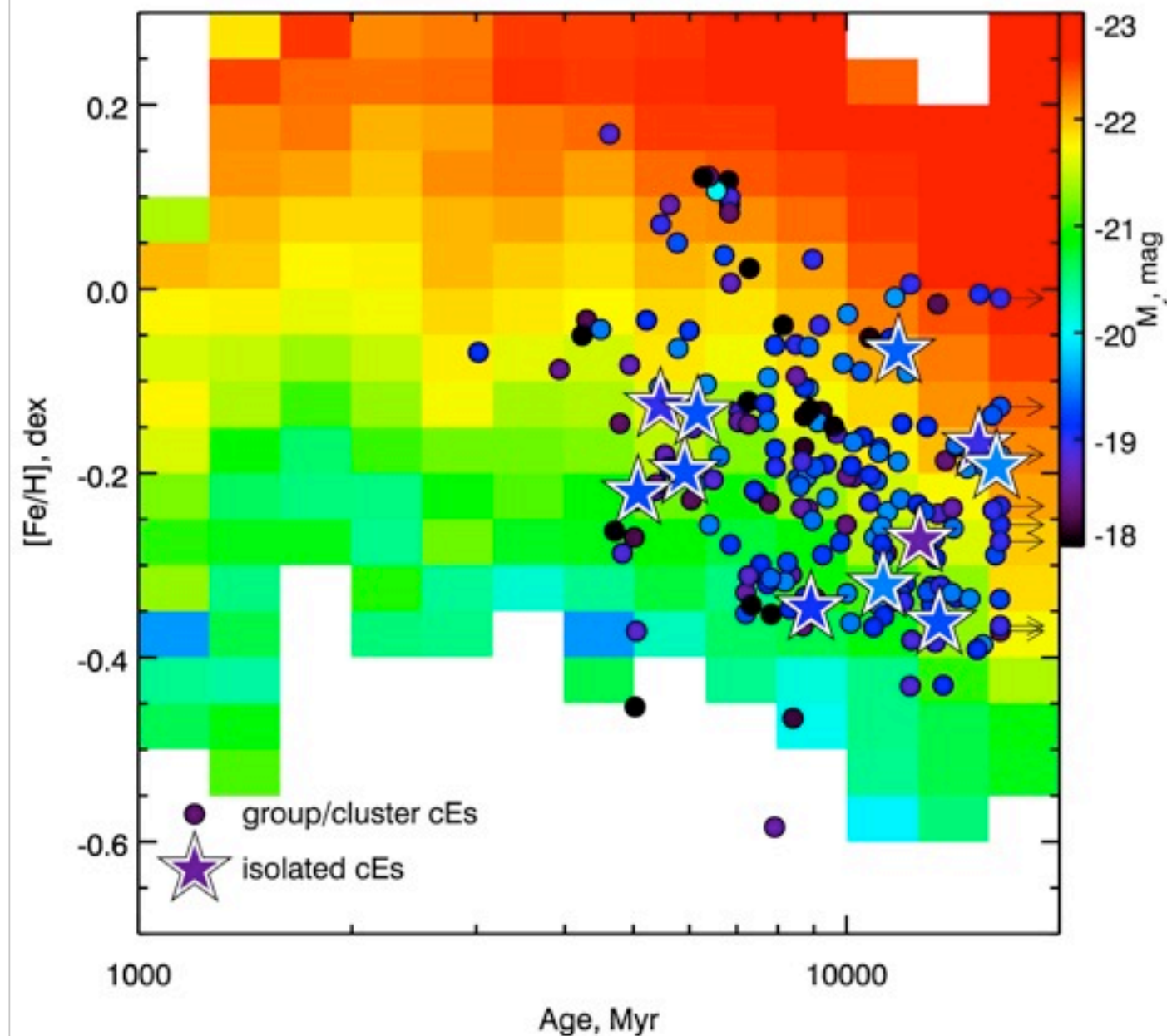


8 объектов с короткоживущими приливными хвостами



Изолированные cE и cE в группах и скоплениях:

звездные населения примерно одинаковые



Что мы видим?

- ❖ Около 70% новых сЕ живут в группах с количеством галактик $N_{gal} > 10$ со спектральным подтверждением
- ❖ Свойства сЕ в группах и скоплениях полностью соответствуют сценарию приливного обдираания

Главный вопрос:

Как образовались изолированные сЕ? Приливное обдираание или что-то еще?

Сбежавшие галактики?

1478 *L. V. Sales et al.*

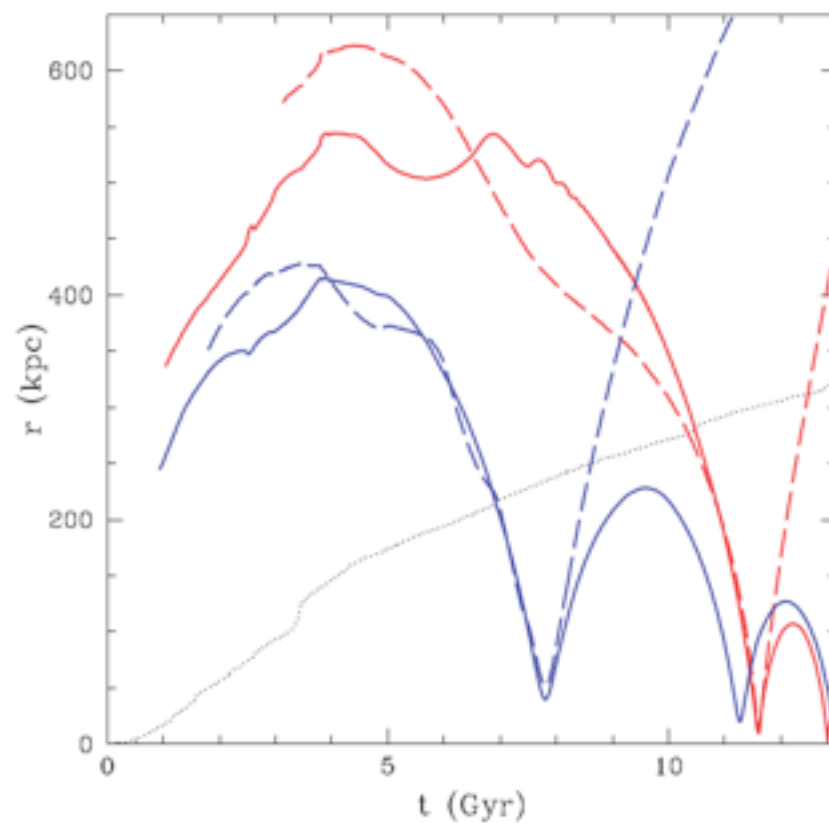


Figure 2. Distance to the primary as a function of time for four satellites

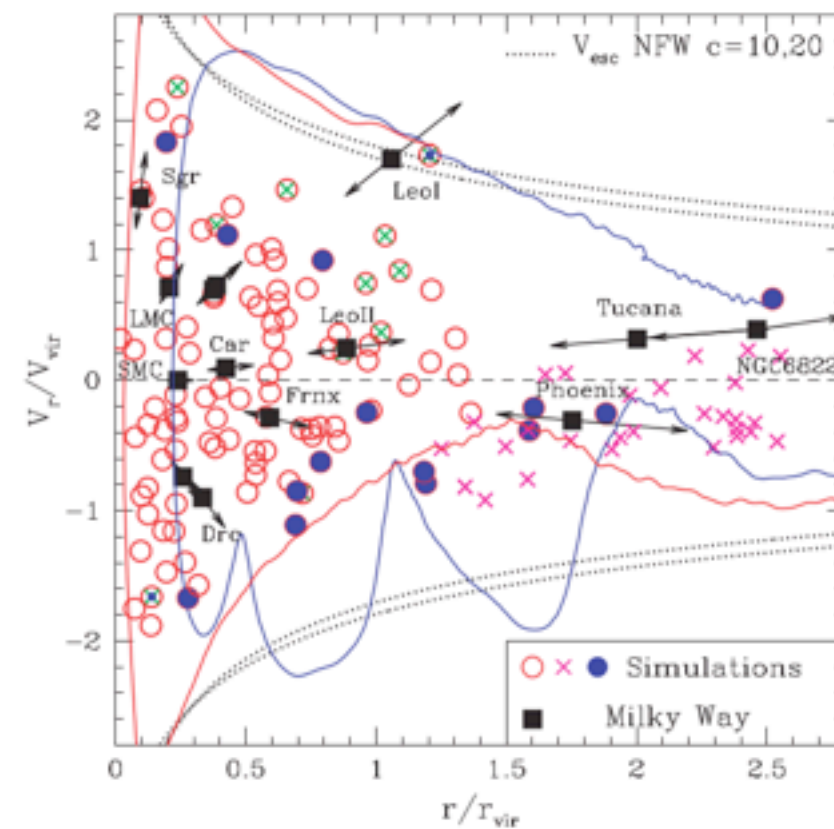
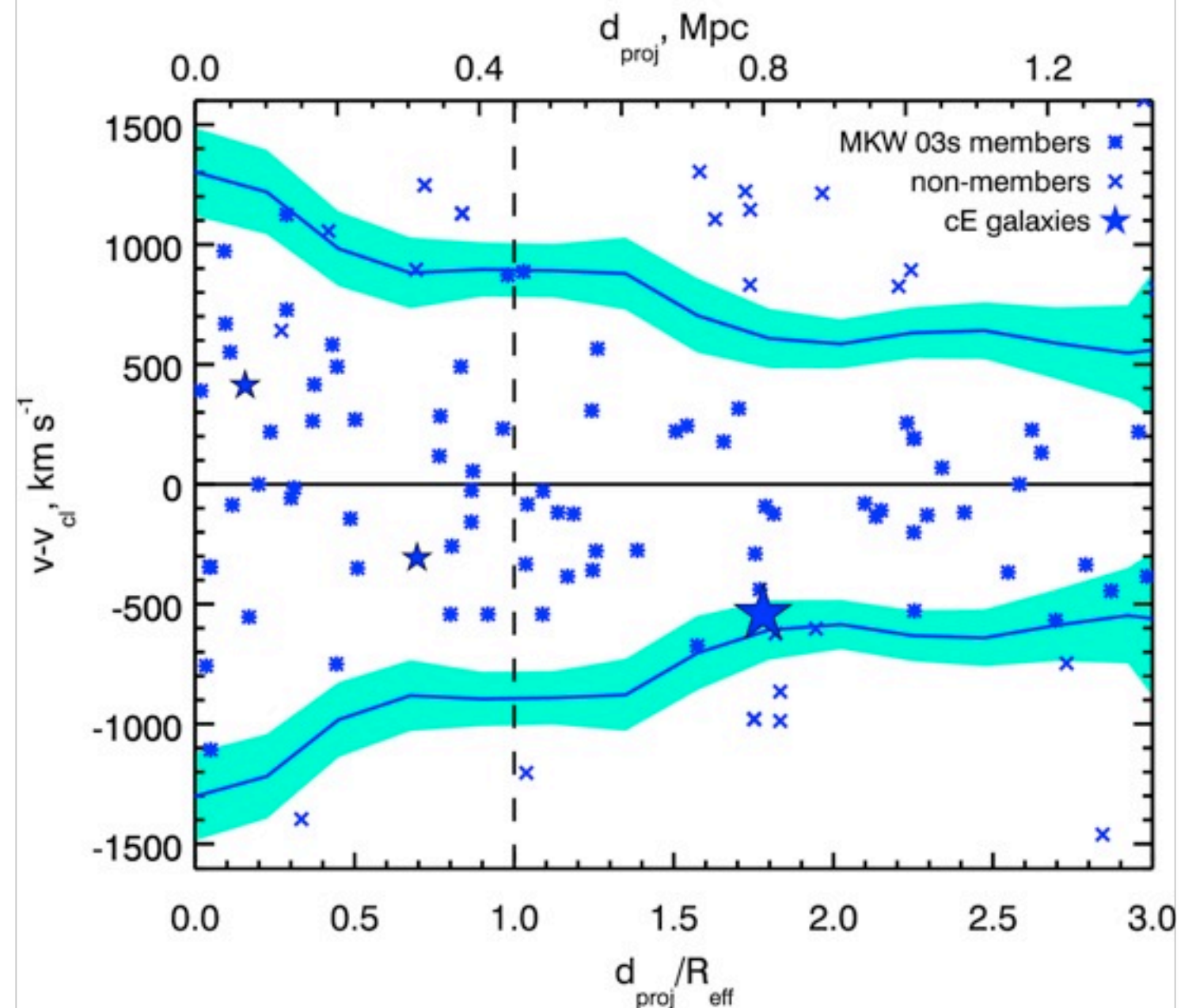


Figure 3. Radial velocity of satellites versus distance to the primary.

Численные модели ([Sales et al. 2007](#)) предсказывают, что несколько процентов спутников Млечного Пути могут оказаться на “высоких” орбитах из-за тройных сближений

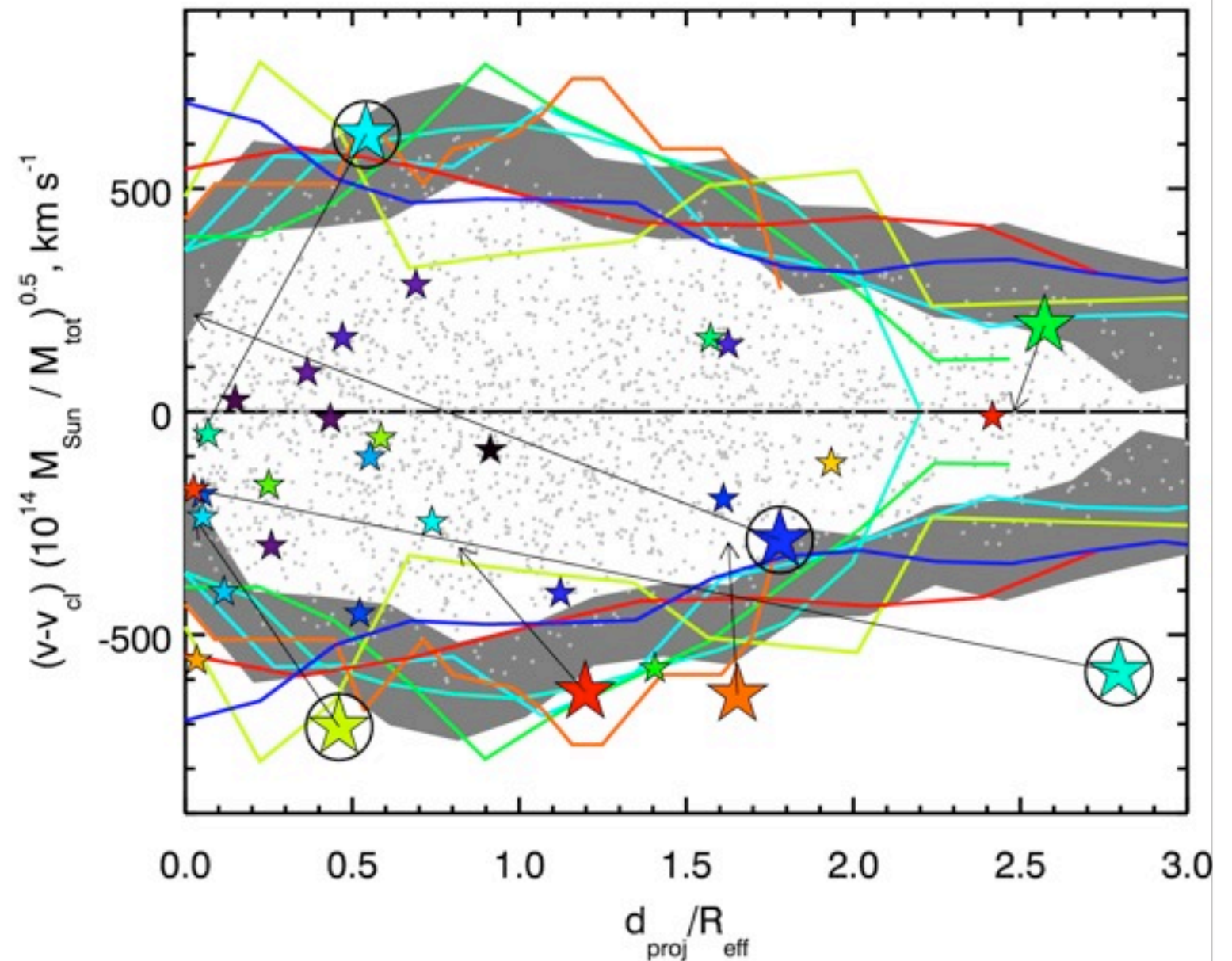
Каустическая диаграмма MKW03s

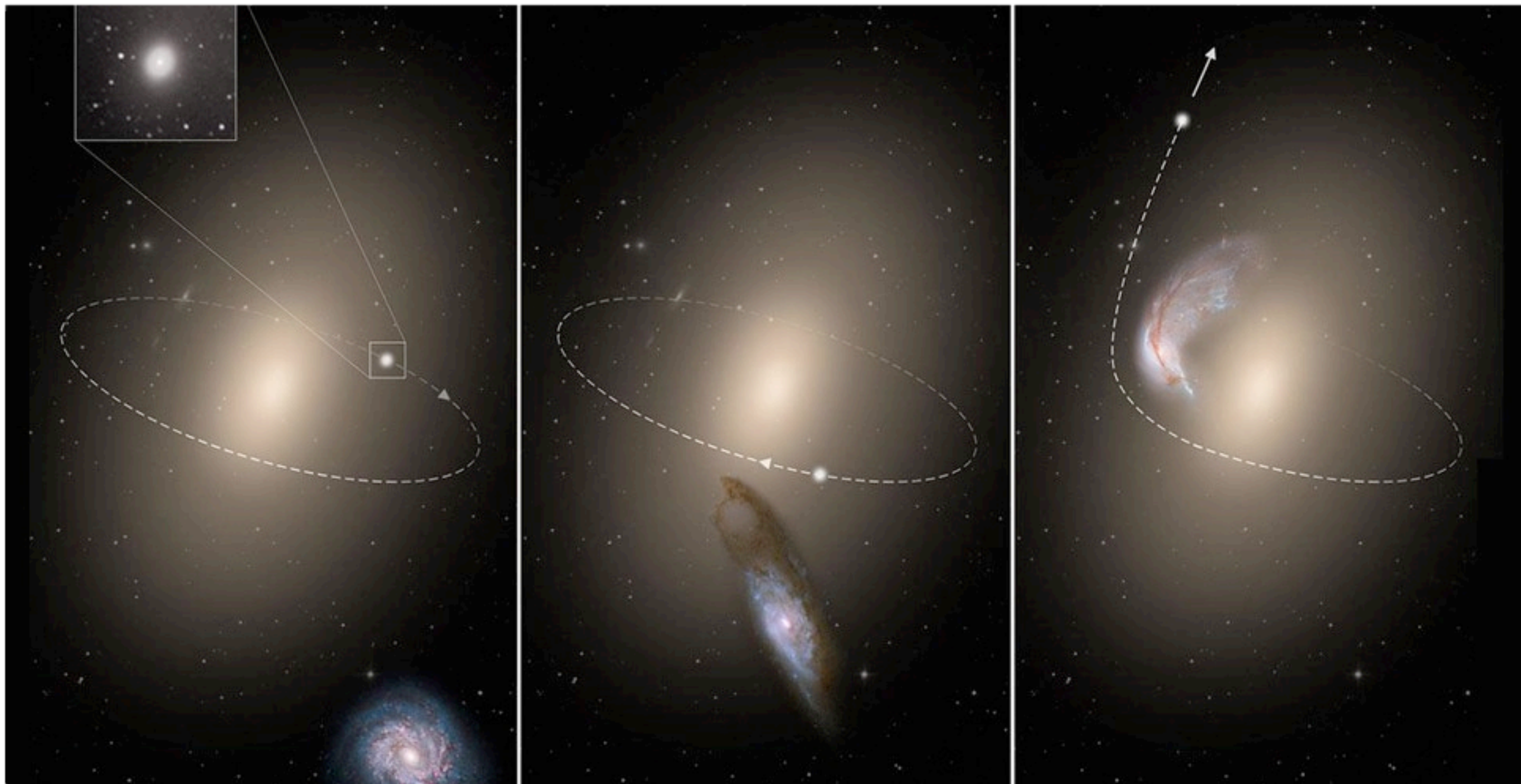
- ❖ Каустики – линии, которые примерно соответствуют скорости убегания на данном расстоянии от центра. Объекты вблизи них либо впервые влетают в скопление, либо вылетают из него.



Сбежавшие галактики!

- ❖ “Синтетическое” скопление: сЕ не похожи на влетающие галактики!
- ❖ Некоторые сЕ находятся на грани гравитационного удержания, что невозможно в обычной ситуации из-за динамического трения





Сбежавшие галактики!

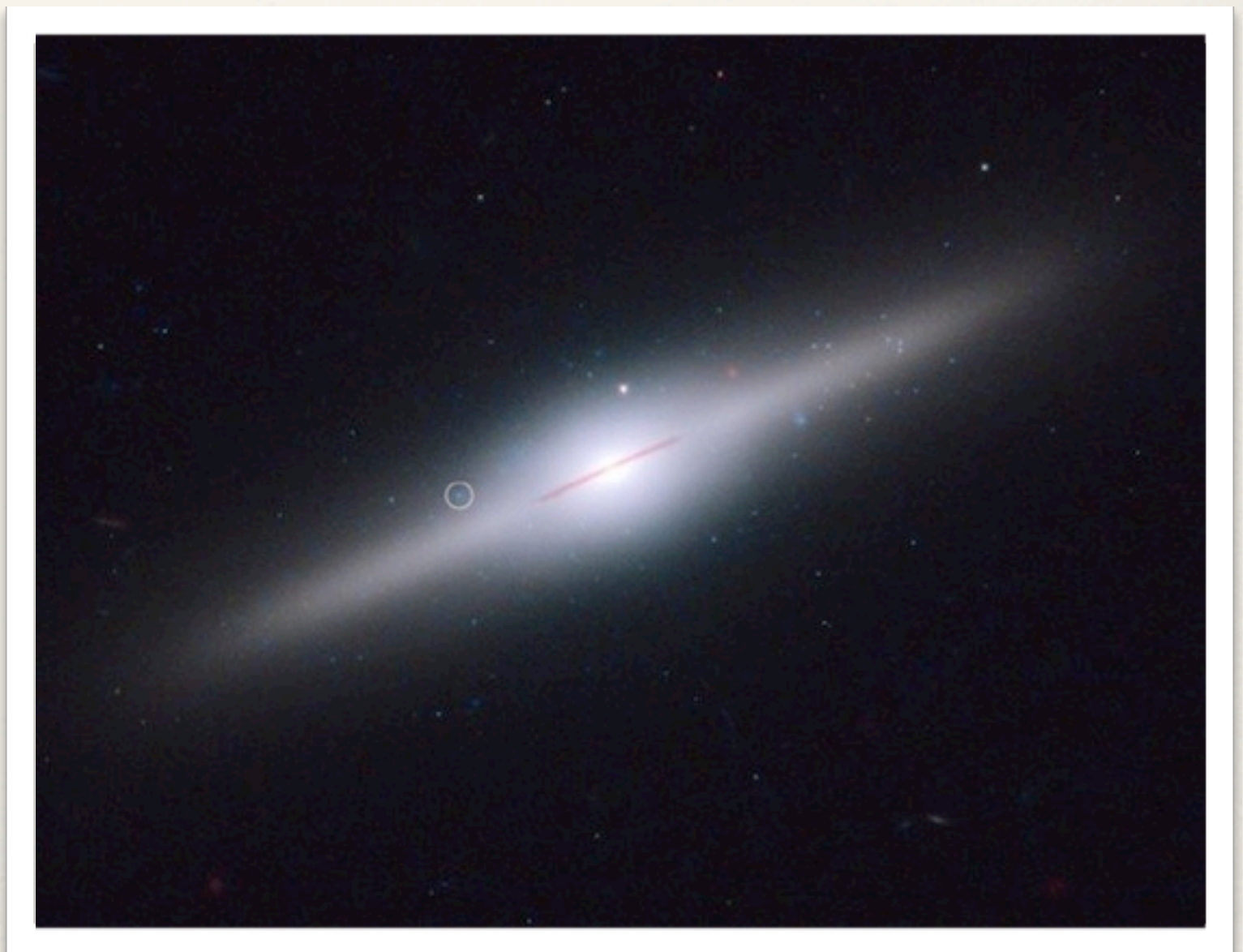
Эффект пращи на галактических масштабах

Черные дыры промежуточных масс (IMBH)

- ❖ $10^2 M_{\odot} < M_{\text{BH}} < 10^5 M_{\odot}$
- ❖ Существование IMBH требуется стандартными теориями иерархического образования галактик и “сборки” сверхмассивных черных дыр (SMBH)
- ❖ Должны часто встречаться даже в настоящую эпоху (~100 шт на каждое гало размером с нашу Галактику)
- ❖ Возможно, проявляются как гипер-яркие рентгеновские источники (HLX)

HLX-1

- ❖ Случайно открыт в данных покрывающих $\sim 1\%$ неба
- ❖ $L_X \sim 10^{42}$ эрг/с
- ❖ $P \sim 1$ год
- ❖ $f_{\min} / f_{\max} \sim 50$
- ❖ $f_X / f_{\text{opt}} \sim 100$
- ❖ $10^4 M_{\odot} < M_{\text{BH}} < 10^5 M_{\odot}$



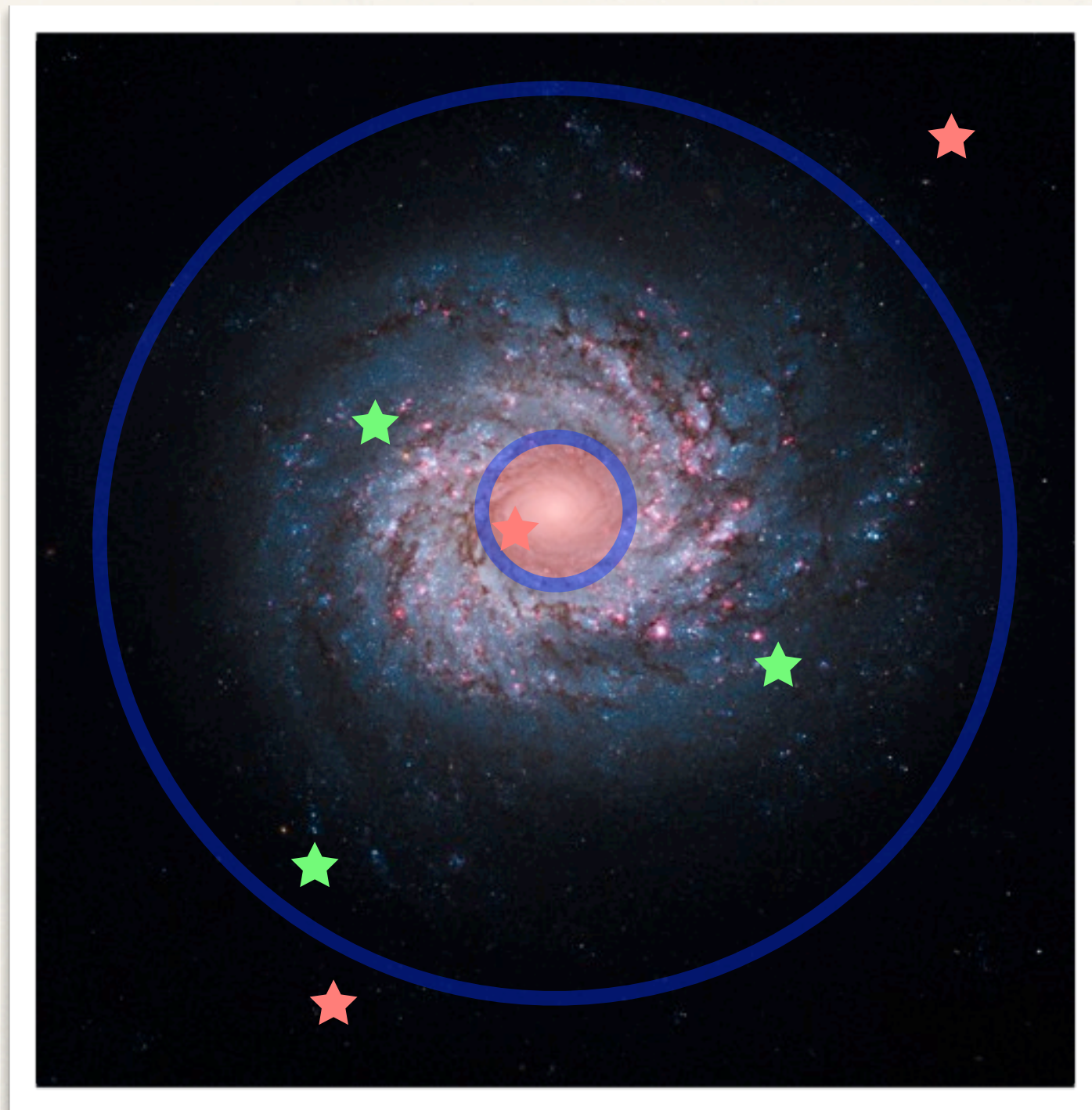
Стратегии поиска HLX

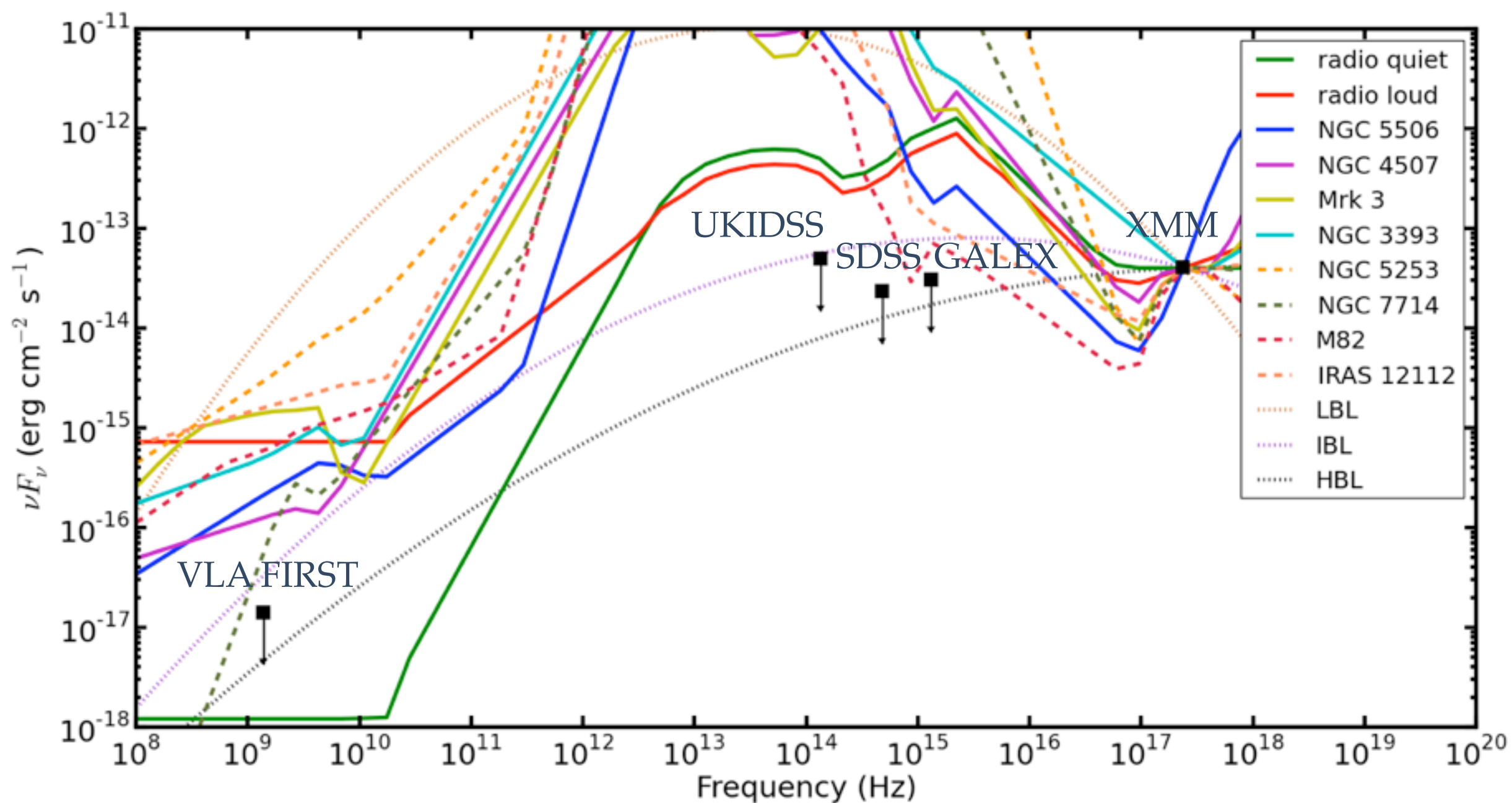
1. Через черные дыры звездных масс: яркий конец распределения ULX (*слабое место: все начинают с каталогов ULX, основанных на каталогах близких галактик*)
2. Через сверхмассивные черные дыры: маломассивный конец распределения AGN, используя всевозможные зависимости (*слабое место: только центральные объекты*)

Предлагаемый метод

- ❖ Вариация подхода #1: поиск рентгеновских объектов на окраинах галактик с нужным L_X и спектрами, похожими на NLX-1 — в полных выборках галактик, т.е. покрывая поиском гораздо больший объем в Мпк^3
- ❖ Следовательно, SDSS с 1.5 млн. галактик вместо RC3 с 20 тыс. галактик

Смотрим на окраины галактик: внеядерное кросс-отождествление





Фильтр фоновых объектов

Итоговая схема поиска

1. Выбираем точечные источники из 3XMM-DR5 с потоком $f_X > 5 \times 10^{-14}$ эрг / с / см²
2. Смотрим на окраины галактик (в пределах 2 Петросяновских радиусов) из спектральной выборки SDSS DR12 с расстояниями $d < 800$ Мпк и размерами $r < 60''$
3. Требуем 10^{41} эрг / с $< L_X < 10^{44}$ эрг / с в предположении, что рентгеновский источник связан с галактикой

Финальная выборка кандидатов в HLX

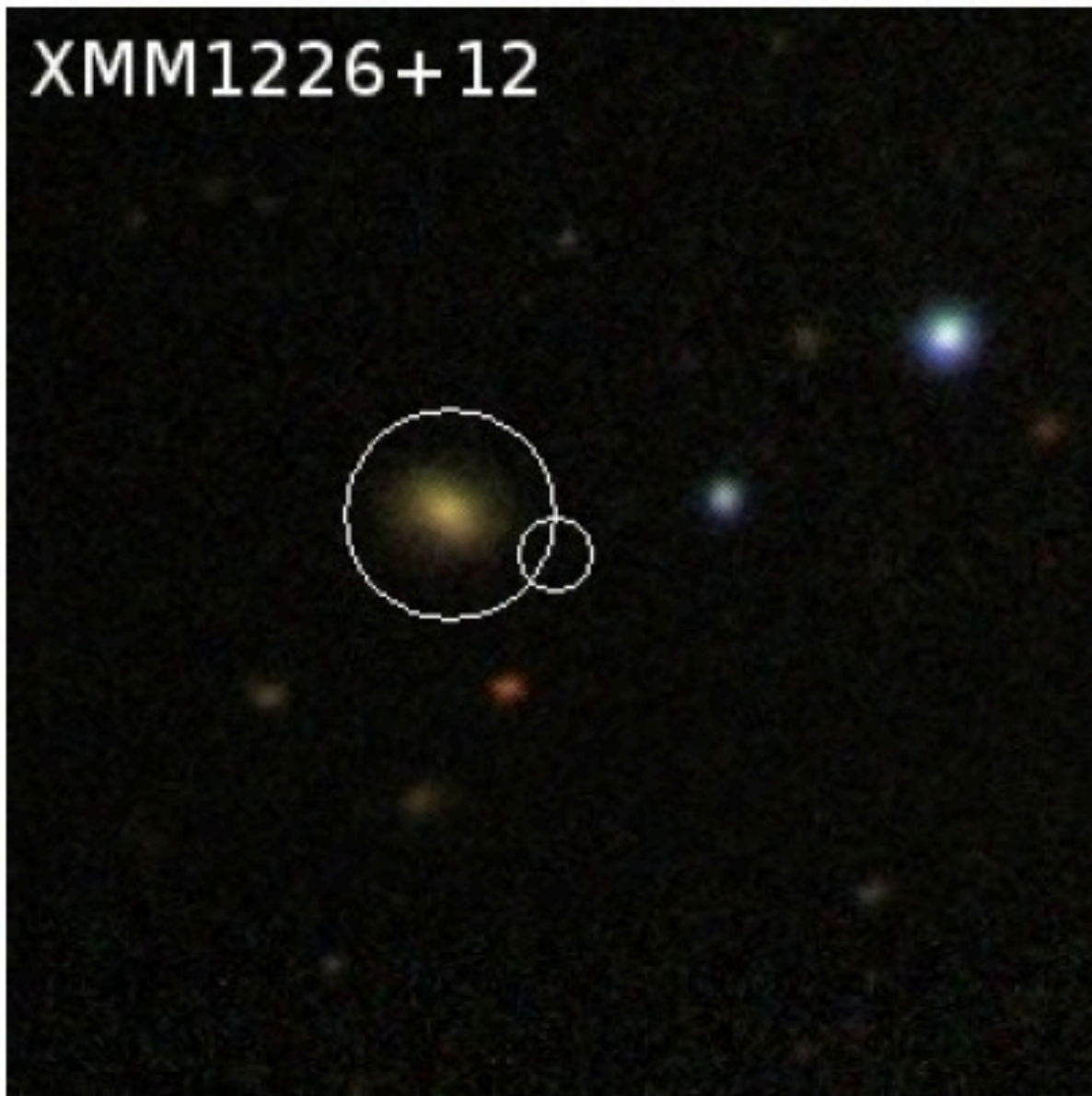
- ❖ 98 HLX кандидатов: 37 без оптических отождествлений ($r > 22.2$ AB), 61 с оптическими двойниками
- ❖ Используя соотношение $\log N - \log S$ из [Moretti et al. \(2003\)](#) и применяя подход из каталога ULX [Walton et al. \(2011\)](#) оцениваем загрязненность:

$$S = \alpha \cdot \max\left(f_{X_{\text{lim}}}, \frac{L_{X_{\text{min}}}}{4\pi d^2}\right)$$

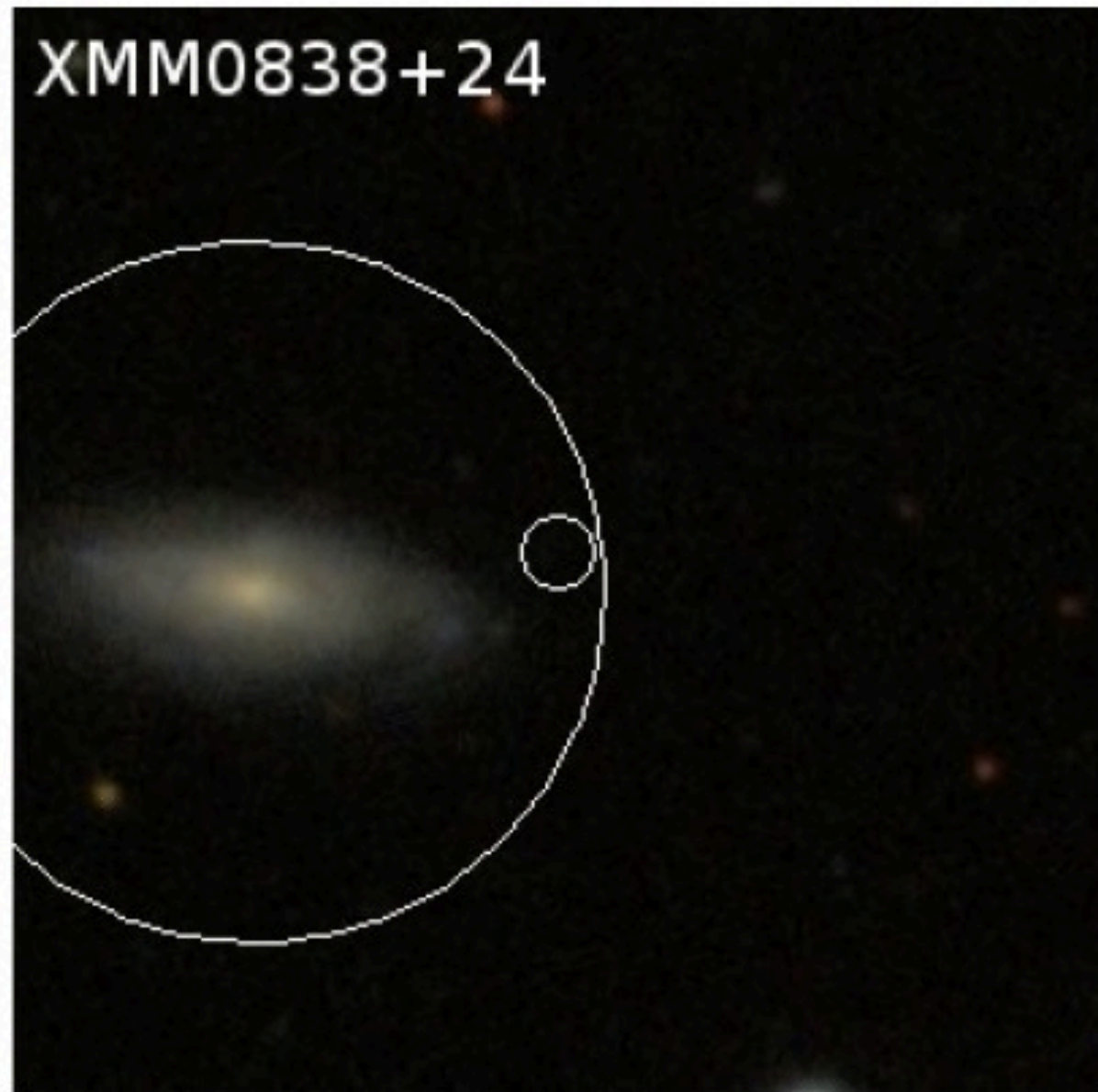
Верхний предел на загрязненность: 71 ± 11 объектов

По крайней мере 16 являются настоящими HLX

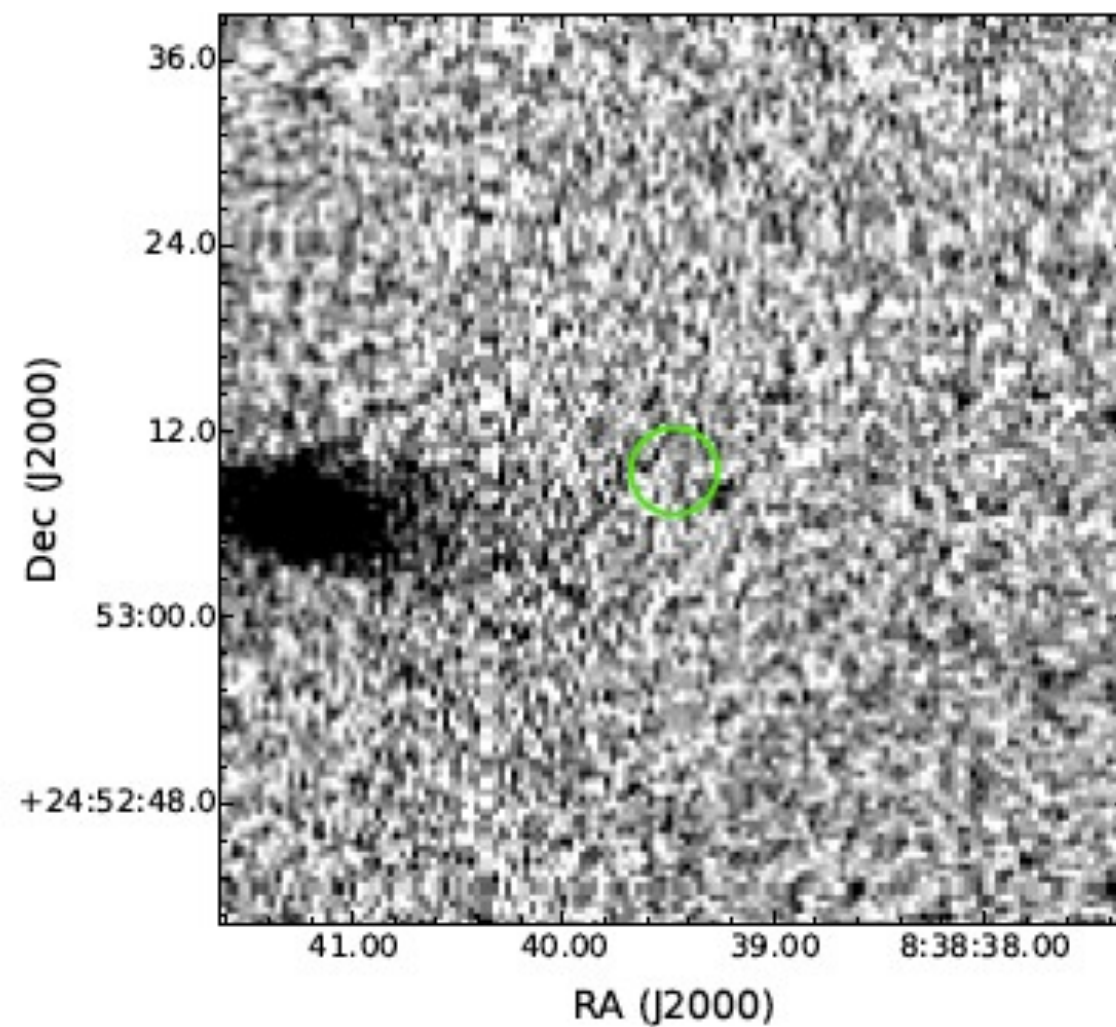
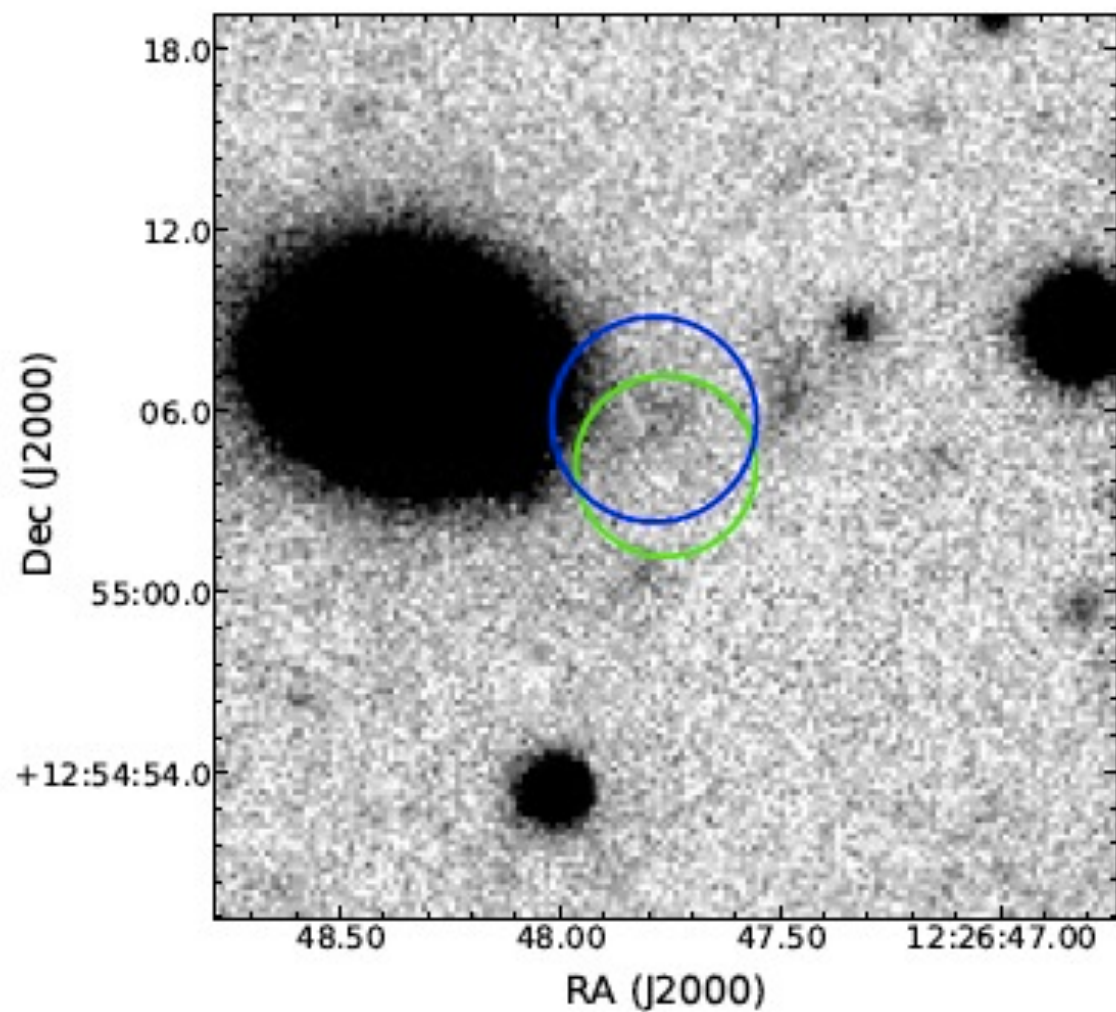
XMM1226+12



XMM0838+24



Кандидаты (SDSS)



Кандидаты (Megacam, UKIDSS)

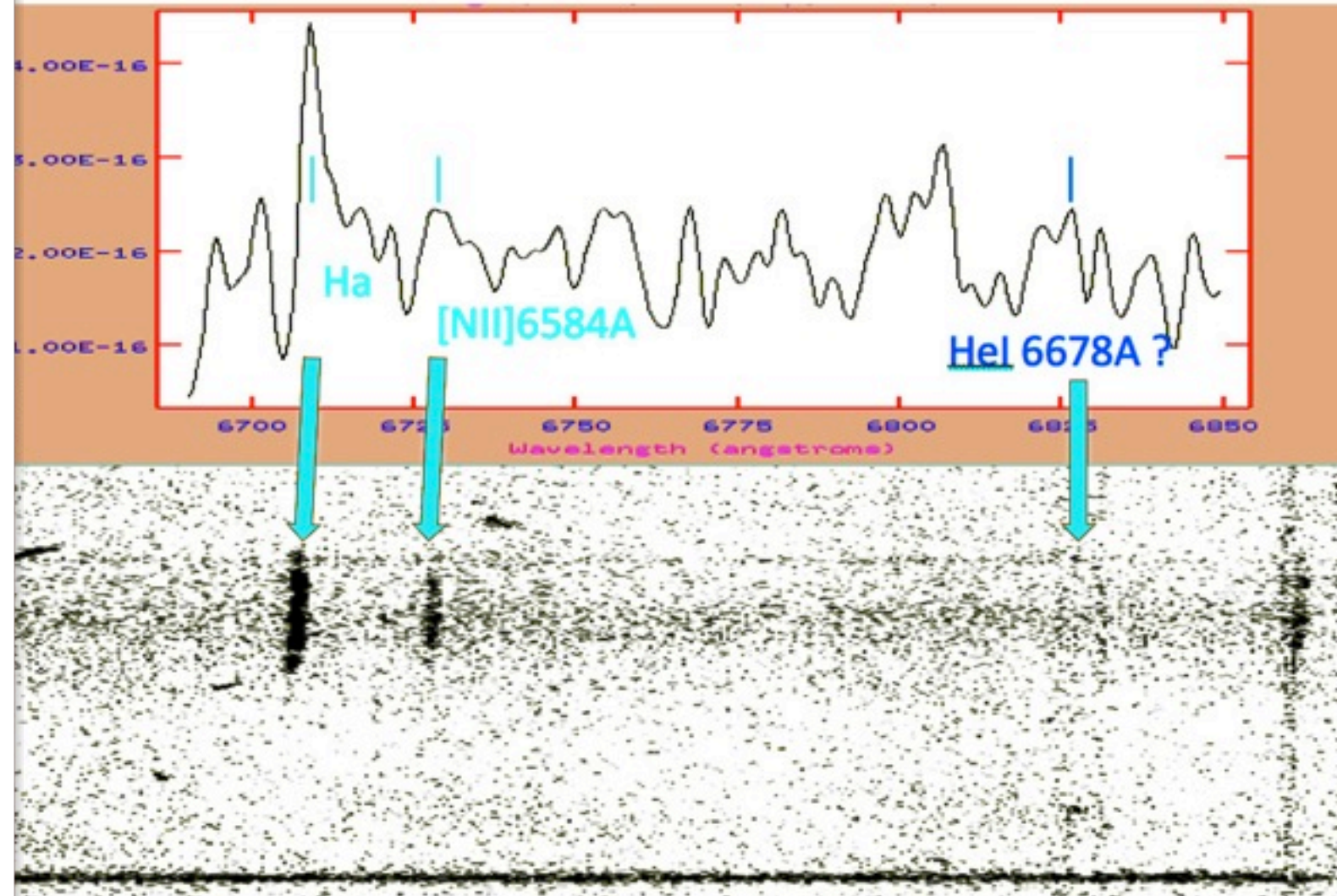
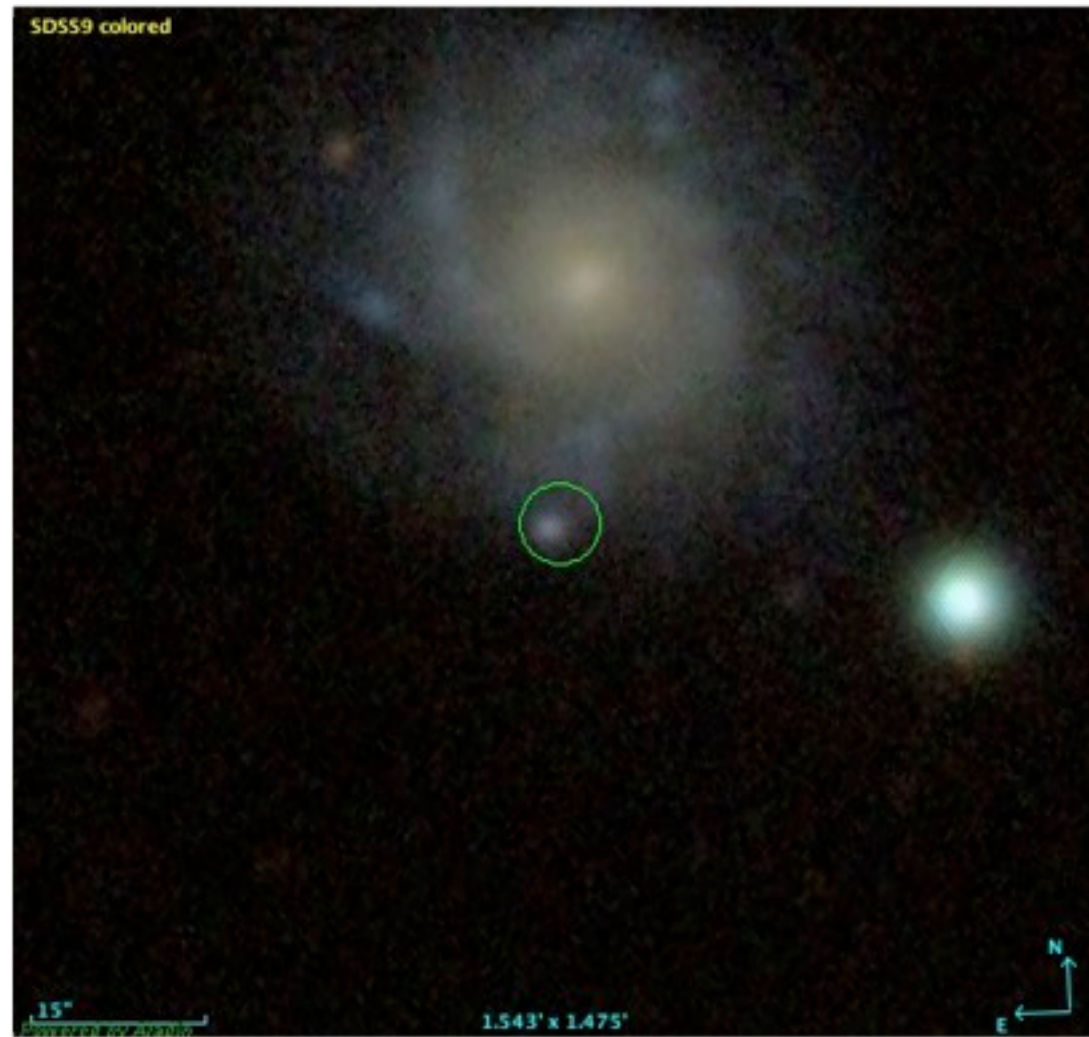
TABLE 2
HLX CANDIDATES AND THEIR SOME CHARACTERISTICS.

Source ID	Flux (erg s ⁻¹ cm ⁻²)	f_X/f_{opt}	Luminosity (erg s ⁻¹)	Mass ($M_{\odot}$)	Distance (Mpc)	Separation (arcsec)	Pos. err. (arcsec)
201082602010056	5.7×10^{-14}	$\simeq 200$ (opt)	4.0×10^{42}	$\simeq 31000$	754	9.1	1.0
203022602010004	1.4×10^{-13}	$\gtrsim 70$ (NIR)	2.7×10^{41}	$\simeq 2100$	128	24.4	0.9

TABLE 3
PROPERTIES OF ASSUMED HOST GALAXIES FOR EACH OF THE SELECTED HLX CANDIDATES.

Source ID	SDSS DR12 objid ID	Type	Petrosian radius (arcsec)	Redshift
201082602010056	1237661813349351502	<i>Sa</i> (?)	4.2	0.158
203022602010004	1237664667887599821	<i>Sc</i>	14.1	0.029

Спектральные наблюдения



96 Мпк, $L_X = 1.2 \times 10^{41}$ эрг/с, $M_r = -15^m$, $f_X / f_{opt} = 3$

Поиск HLX: выводы

- ❖ Популяция HLX существует и наблюдаема
- ❖ Для подтверждения ассоциации с галактикой требуется глубокая оптическая спектроскопия (выполняется программа на Кеск + Palomar с Ф. Харрисон, 10 кандидатов снято + 50 осталось)
- ❖ Интересно применять к рентгеновским обзорам всего неба, таким как **eRosita**

Фотонная база данных

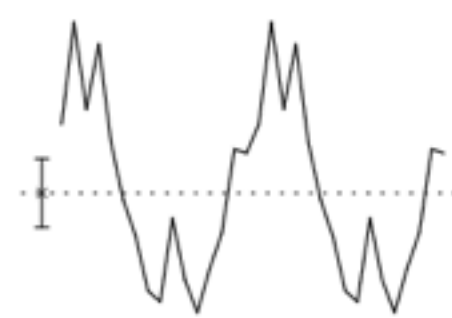
XMM-Newton

- ❖ 7300 наблюдений из каталога 3XMM-DR5
- ❖ Отфильтрованные и калиброванные по энергиями листы фотонов (PIEVLI) публично доступны через архив ESA
- ❖ ~50 млрд. фотонов
- ❖ Автоматическое барицентрирование (!)
- ❖ Доступно в виде веб-приложения: <http://xmm-catalog.irap.omp.eu>

Фабрика пульсаров

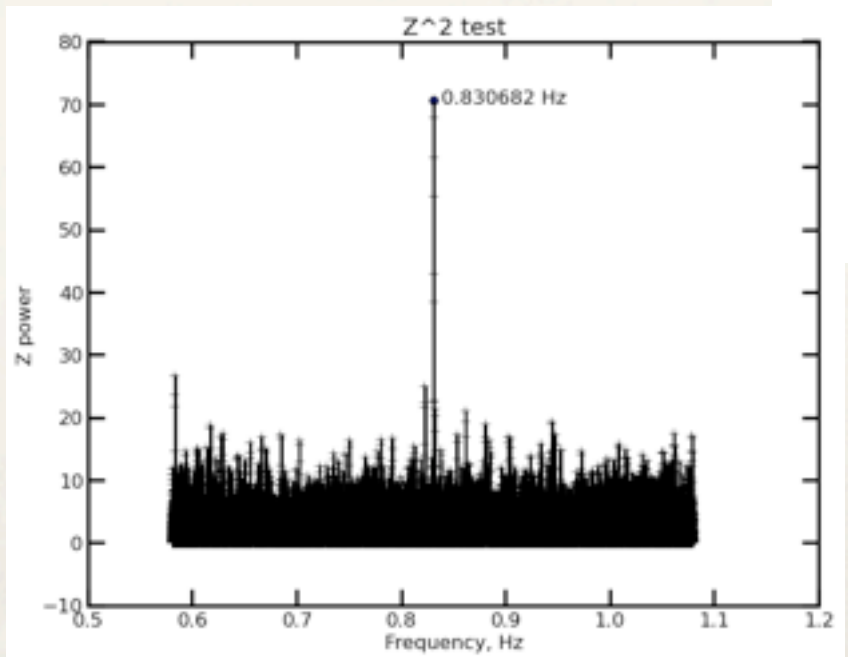
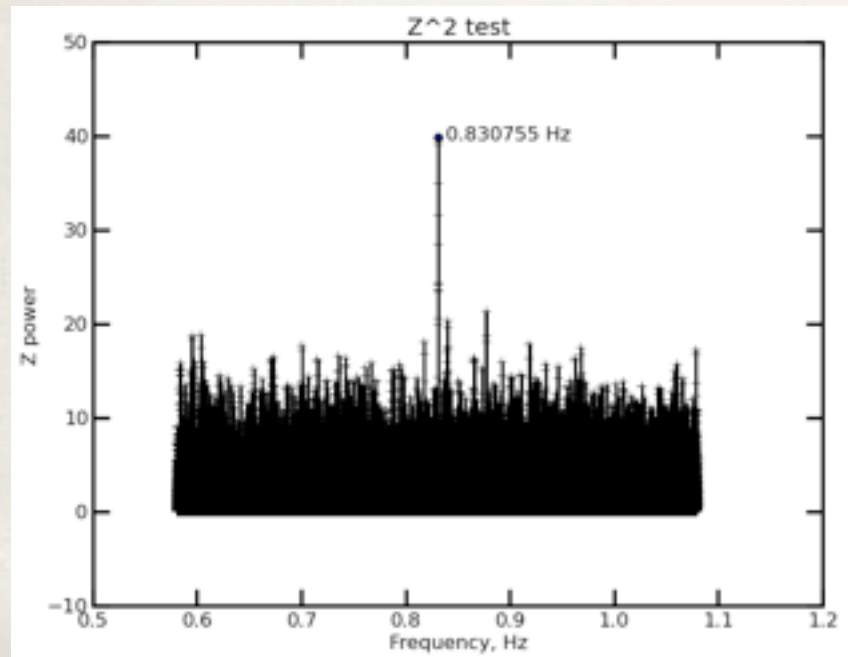
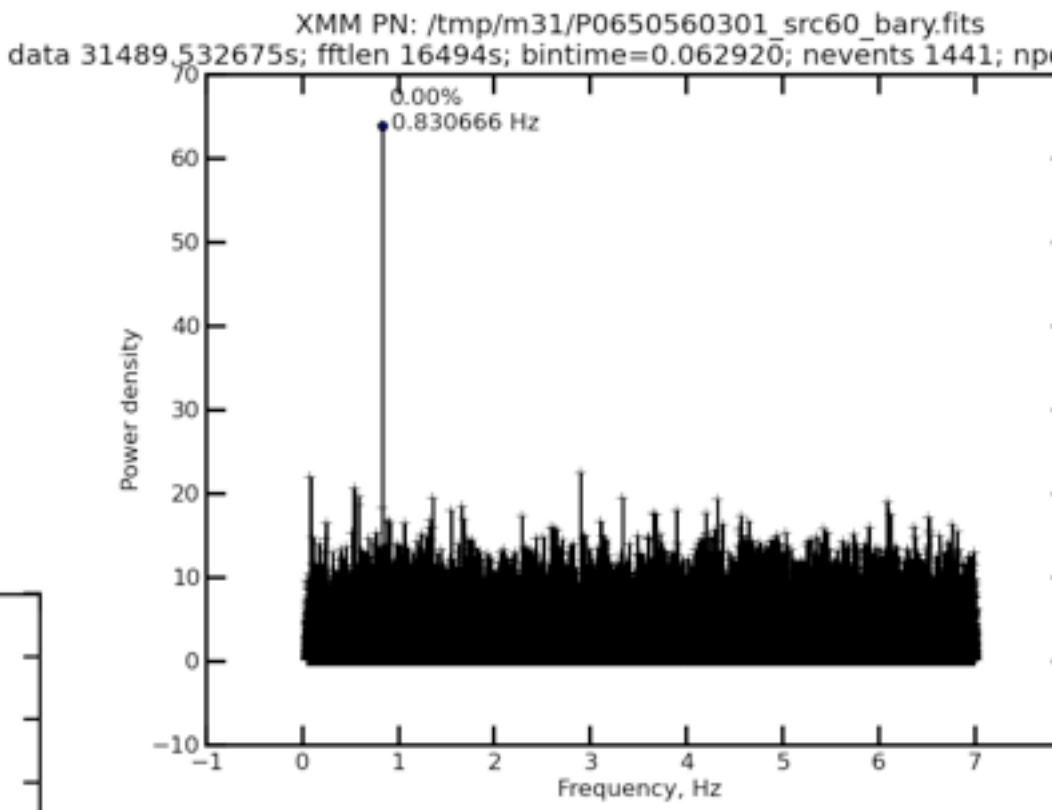
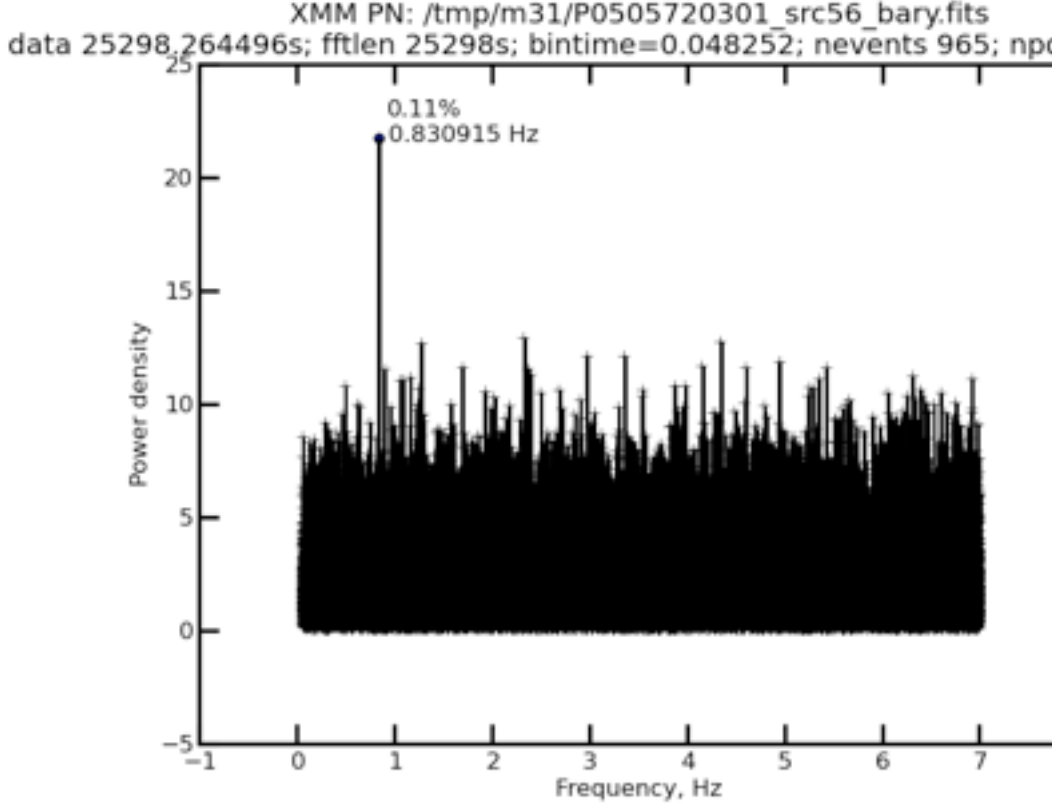
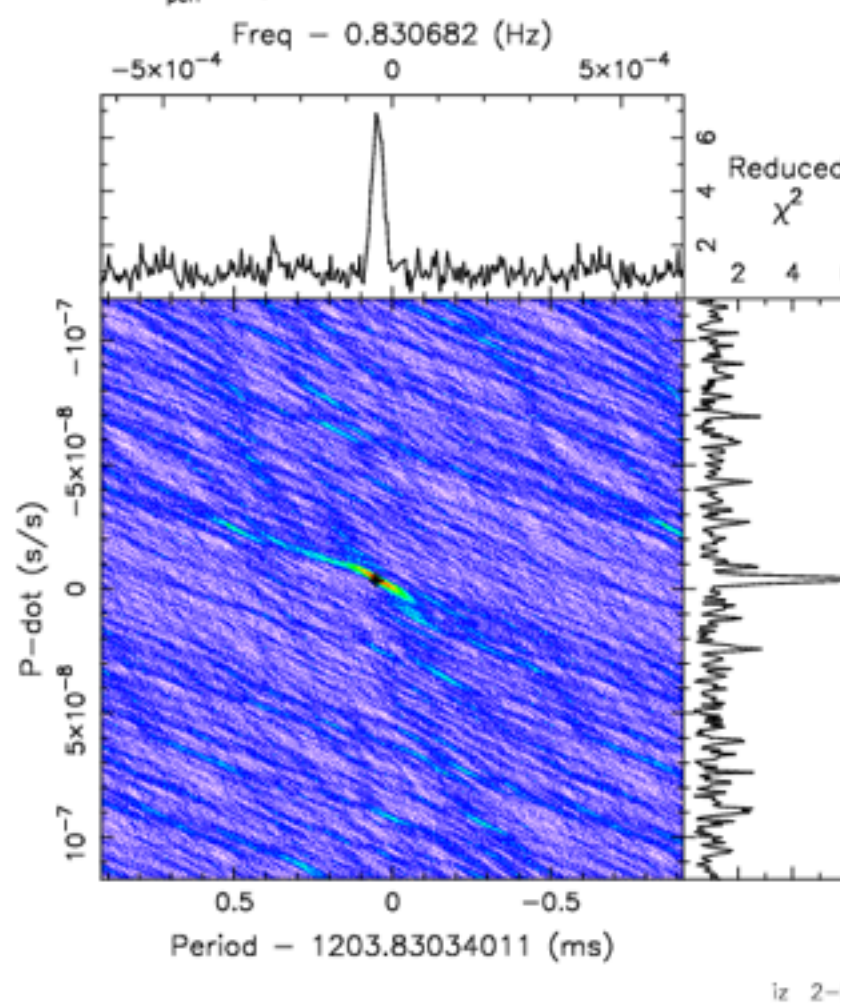
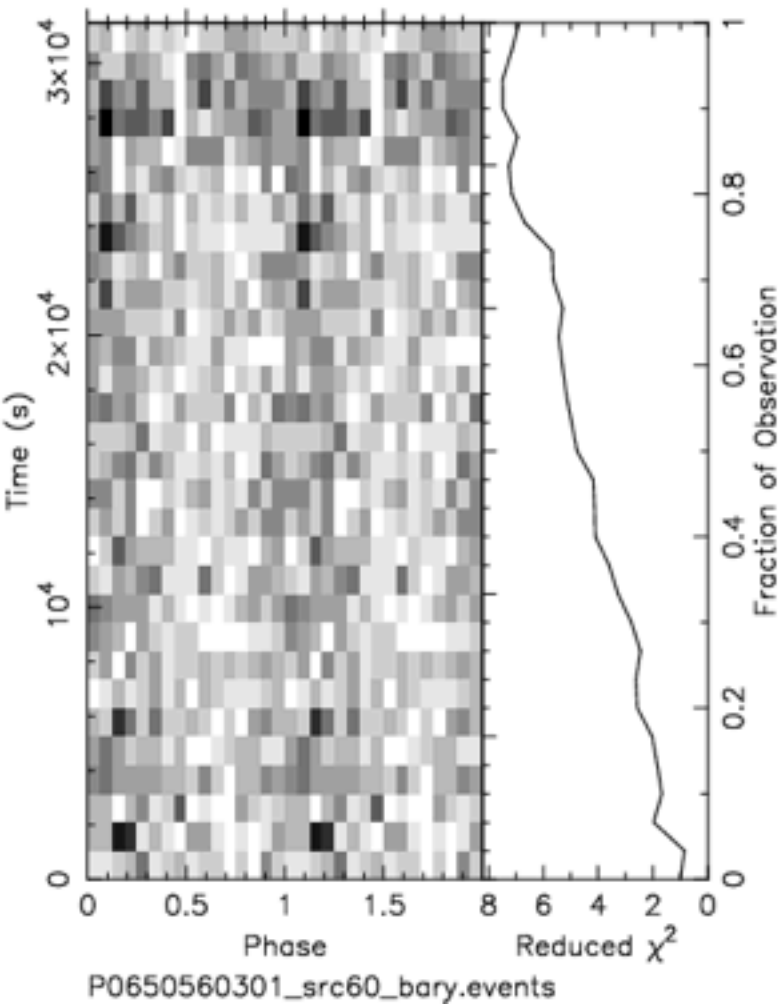
- ❖ Программа поиска когерентных пульсаций по координатам RA-Dec или источнику из каталога 3XMM-DR5
- ❖ Спектр мощности небольших сегментов по времени → тест Z^2 → PRESTO
- ❖ Галактика Андромеды как тестовая выборка (9 тыс. наблюдений индивидуальных объектов)

2 Pulses of Best Profile



Candidate: 0.83Hz_Cand
 Telescope: XMM-Newton
 Epoch_{topo} = N/A
 Epoch_{bary} = 55565.75828700000
 T_{sample} = N/A (Events)
 Events Folded = 1440
 Data Avg = 0.0002151
 Data StdDev = 0.01466
 Profile Bins = 16
 Profile Avg = 90
 Profile StdDev = 9.487

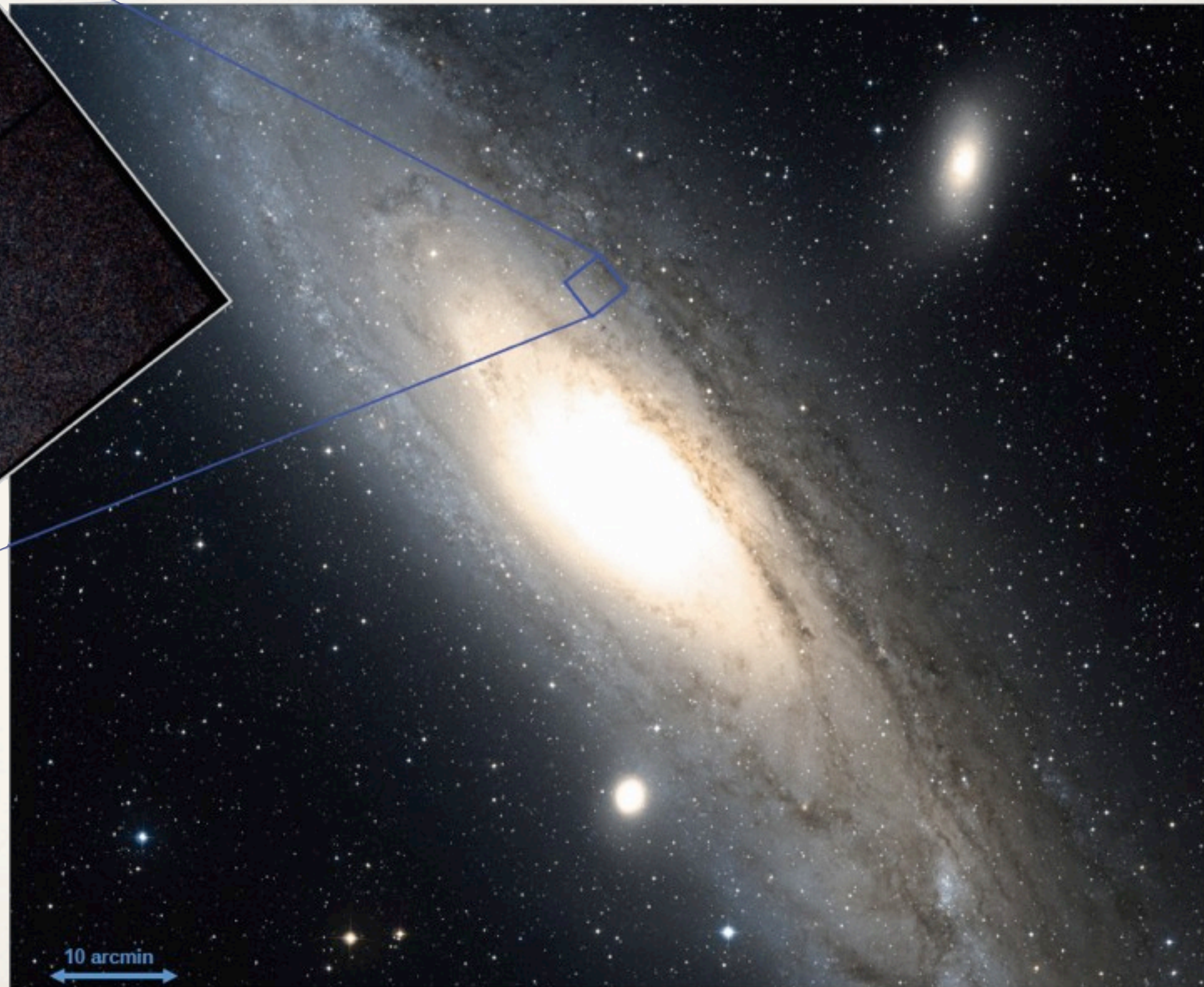
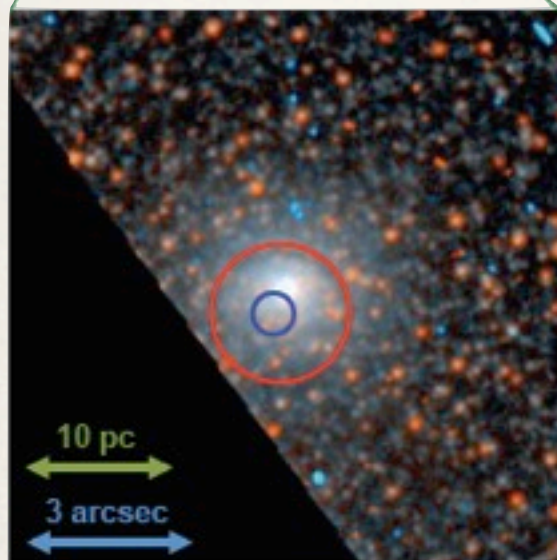
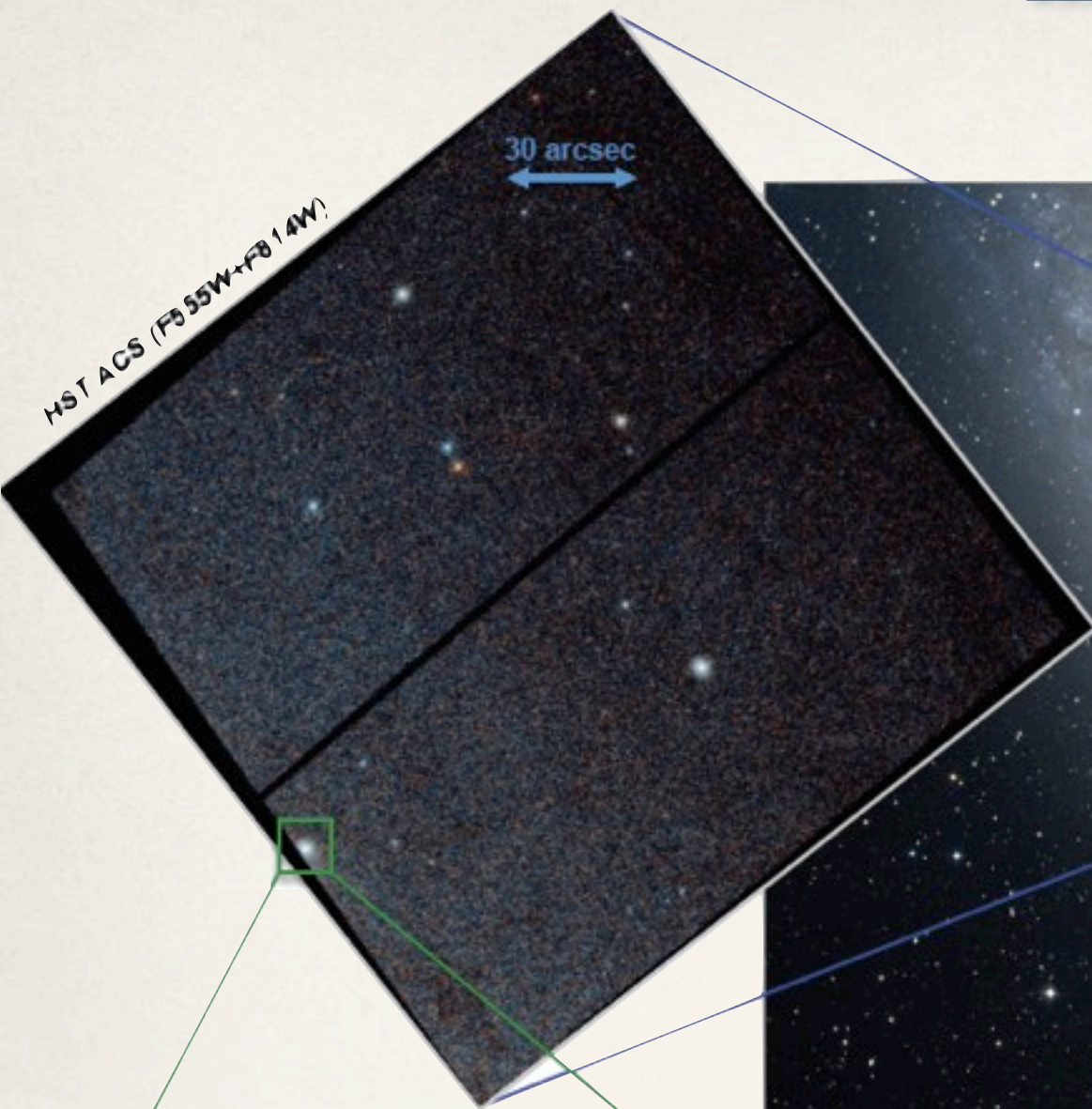
Search Information
 RA_{J2000} = 00:42:44.3002 DEC_{J2000} = 41:16:09
 Best Fit Parameters
 DOF_{eff} = 15.00 χ^2_{red} = 6.886 P(Noise) < 3.1e-15
 Dispersion Measure (DM) = N/A
 P_{topo} (ms) = N/A P_{bary} (ms) = 1203.
 P'_{topo} (s/s) = N/A P'_{bary} (s/s) = -3.65
 P''_{topo} (s/s²) = N/A P''_{bary} (s/s²) = 0.0(
 Binary Parameters
 P_{orb} (s) = N/A e = N/A
 a₁sin(i)/c (s) = N/A ω (rad) = N/A
 T_{peri} = N/A



Можно повторить
онлайн!

Шаровое скопление B091D в Туманности Андромеды

DSX 48 inch Schmidt



Pulsar recycling concept

- ❖ NS is born quickly rotating
- ❖ Then slows down in rotation-powered phase (radio pulsar)
- ❖ Millisecond pulsars with $P_{\text{spin}} \sim 1\text{-}10\text{ ms}$ and $B \sim 10^8\text{ G}$ dominate in GCs
- ❖ They were in accreting binaries
- ❖ Accretion buries magnetic field
- ❖ and spins up the neutron star

Пульсар

- ❖ $L_X = (3...10) \times 10^{37}$ эрг / с
- ❖ Период НЗ: 1.20 секунд
- ❖ Орбитальный период: 109.8 кс = 30.5 ч
- ❖ В шаровом скоплении B091D: вероятность случайной проекции $\sim 10^{-3}$
- ❖ Поэтому название: XB091D
- ❖ Ближайший известный аналог: “умеренно раскрученный” пульсар IGR J17480-2446 в Terzan 5

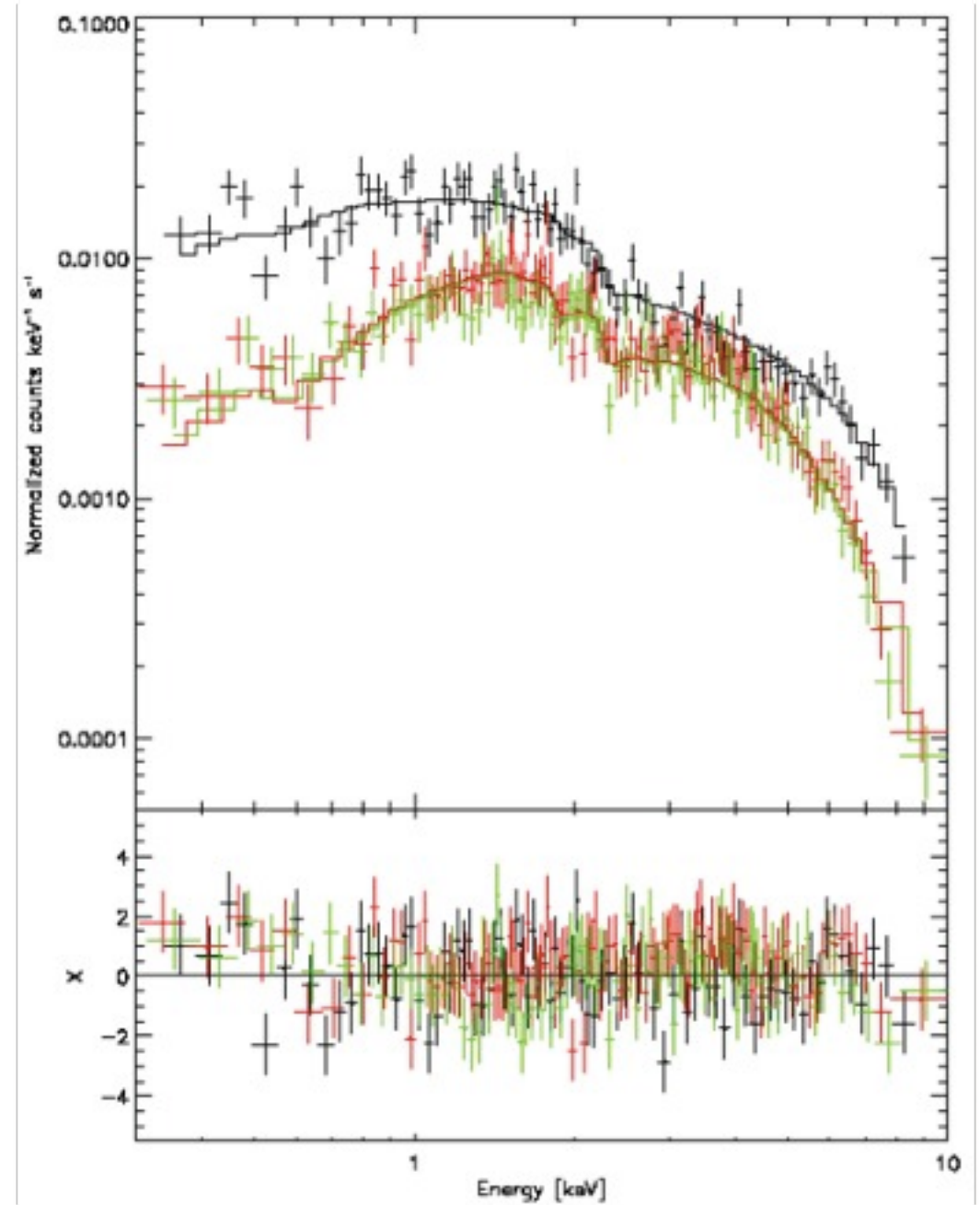
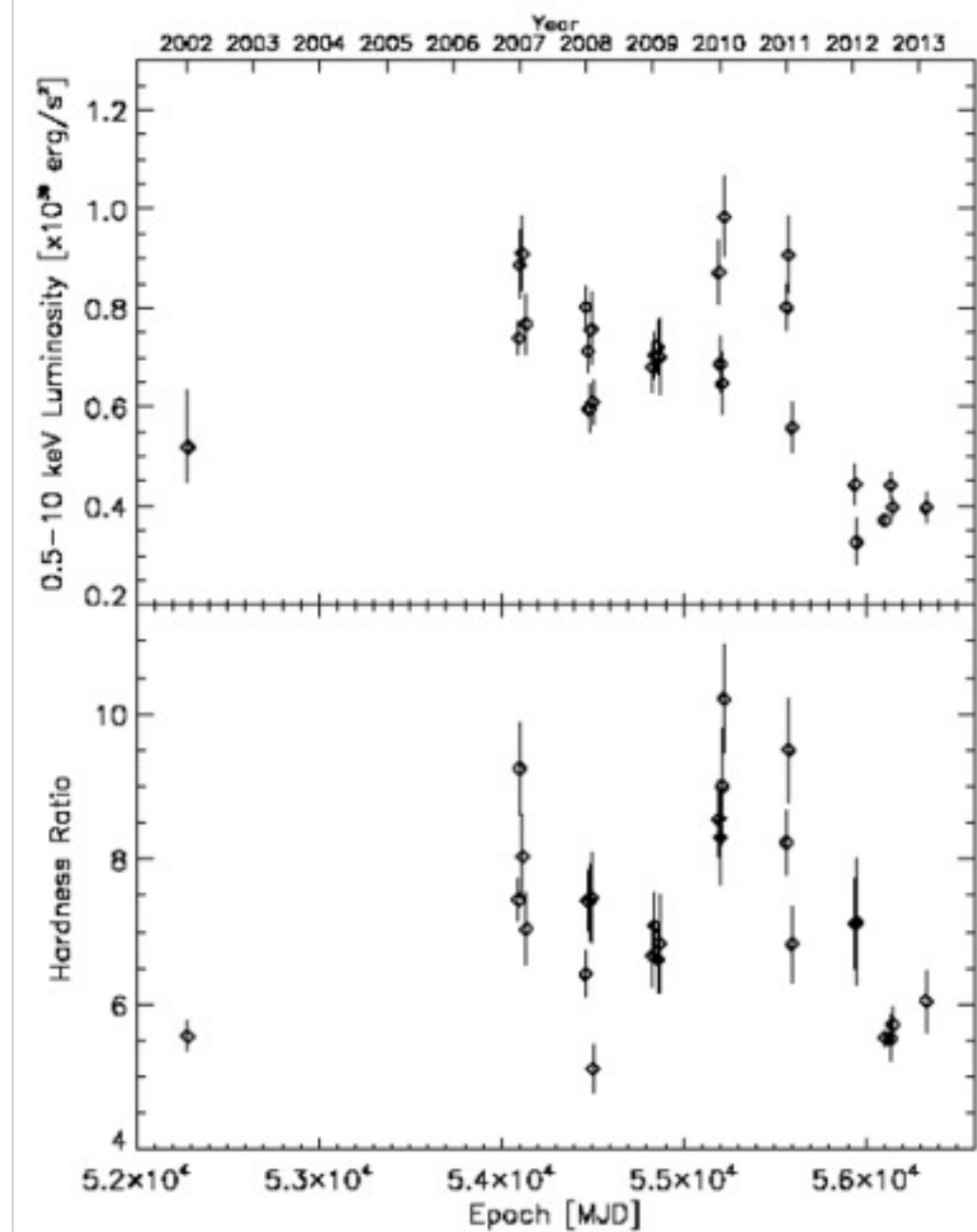
IGR J17480-2446

- $L_X = 2...7 \times 10^{37}$ эрг/с
- $P_{\text{spin}} = 0.09$ с
- $P_{\text{orb}} = 21.3$ ч
- Умеренно раскрученный
- ШЗС: Terzan 5

XB091D

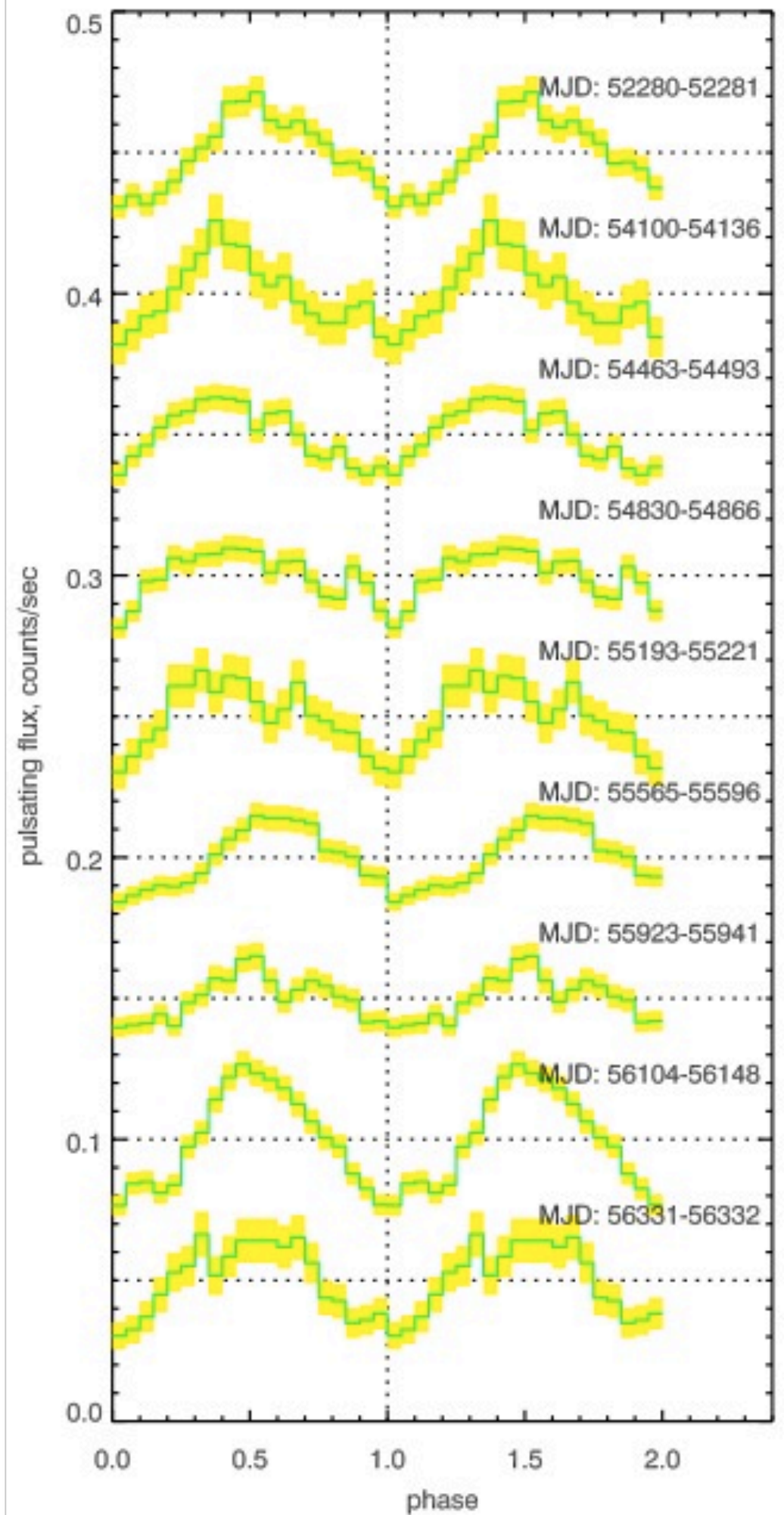
- $L_X = 3...10 \times 10^{37}$ эрг/с
- $P_{\text{spin}} = 1.20$ с
- $P_{\text{orb}} = 30.5$ ч
- Нераскрученный
- ШЗС: M31 B091D

XB091D



XB091D

профили пульсаций



Terzan 5

- Age: 6 + 12 Gyr
- $\rho_0 = 1...4 \times 10^6 \text{ M}_\odot/\text{pc}^3$
- $\sigma_0 = 12.7 \text{ km/s}$
- $r_c = 0.24 \text{ pc}$
- $\Gamma_{\text{Terzan 5}} = 1$
- $\gamma = 13 \times \gamma_{\text{M6}}$

Encounter rate:

$$\Gamma \propto \rho_0^2 r_c^3 / \sigma_0$$

M3 | B09 | D

- Age: 12 Gyr
- $\rho_0 = 8 \times 10^5 \text{ M}_\odot/\text{pc}^3$
- $\sigma_0 = 18.6 \text{ km/s}$
- $r_{\text{core}} = 0.42 \text{ pc}$
- $\Gamma = 1.5 \times \Gamma_{\text{Terzan 5}}$
- $\gamma = 15 \times \gamma_{\text{M6}}$

Encounter rate per binary:

$$\gamma \propto \rho_0 / \sigma_0$$

Terzan 5

- Age: 6 + 12 Gyr
- $\rho_0 = 1...4 \times 10^6 M_\odot/\text{pc}^3$
- $\sigma_0 = 12.7 \text{ km/s}$
- $r_c = 0.24 \text{ pc}$
- $\Gamma_{\text{Terzan 5}} = 1$
- $\gamma = 13 \times \gamma_{\text{M6}}$

Encounter rate:

$$\Gamma \propto \rho_0^2 r_c^3 / \sigma_0$$

M3 | B091D

- Age: 12 Gyr
- $\rho_0 = 8 \times 10^5 M_\odot/\text{pc}^3$
- $\sigma_0 = 18.6 \text{ km/s}$
- $r_{\text{core}} = 0.42 \text{ pc}$
- $\Gamma = 1.5 \times \Gamma_{\text{Terzan 5}}$
- $\gamma = 15 \times \gamma_{\text{M6}}$

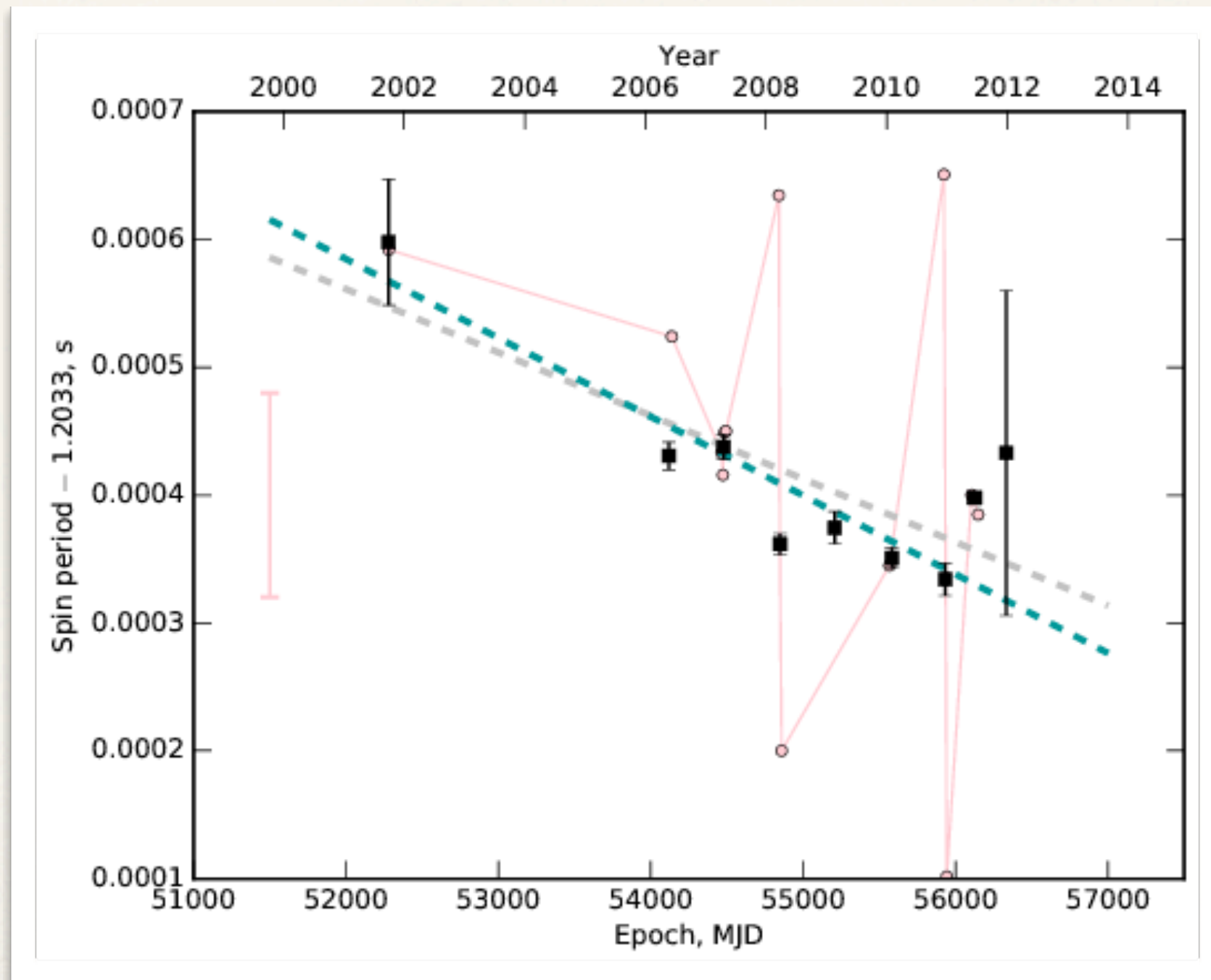
Encounter rate per binary:

$$\gamma \propto \rho_0 / \sigma_0$$

Prolific

Even more prolific!

Будущее пульсара



Будущее пульсара

- ❖ Устойчивая раскрутка: $\sim 2 \times 10^{-5}$ с / год, похожий на Terzan 5 темп
- ❖ Через 10^5 лет он станет обычным раскрученным миллисекундным пульсаром в двойной системе с орбитальным периодом $P \sim 1$ день
- ❖ Нам повезло застать пульсар в самом начале эпизода интенсивной аккреции / раскручивания

Пульсар в М31: выводы

- ❖ XB091D – первый пульсар в М31, один из немногих внегалактических пульсаров
- ❖ Самая медленно вращающаяся НЗ в шаровых скоплениях
- ❖ Самая широкая двойная в ШЗС с маломассивным субгигантом $M_2 \sim 0.8 M_{\odot}$
- ❖ Первый известный нераскрученный пульсар, недостающее звено в теории раскрутки пульсаров
- ❖ Аргумент в пользу АИС / МИС
- ❖ Исследование можно повторить онлайн: <http://xmm-catalog.irap.omp.eu>

Практическая ценность диссертации

- ❖ Наблюдательно эффективный метод определения периода постоянных LMXB
- ❖ Высокоселективный метод отождествления рентгеновских источников в плоскости Галактики
- ❖ Метод поиска гипер-ярких рентгеновских источников
- ❖ Крупнейшие каталоги рентгеновских источников 3XMM-DR5 и 3XMM-DR6
- ❖ Каталог свойств галактик RCSED

Положения, выносимые на защиту

- * **Отождествление** в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах **13 рентгеновских двойных** систем из балджа Галактики; ограничения на их физические параметры, обнаружение одной системы-кандидата в ультракомпактные рентгеновские двойные; обнаружение маломассивной рентгеновской двойной, аккрецирующей звездный ветер компаньона; разработка и апробация высокоселективного метода отождествления неизученных рентгеновских источников с большой неопределенностью положения в плоскости Галактики при помощи Виртуальной Обсерватории.
- * **Зависимость период–величина** в ближнем инфракрасном диапазоне для постоянных маломассивных рентгеновских двойных систем.
- * **Универсальная зависимость цвет–цвет–величина** в ультрафиолетовом и оптическом диапазонах для нормальных галактик; аналитические функции на ее основе для точного определения фотометрических красных смещений и морфологического типа галактики по минимальному набору наблюдаемых величин.
- * **Открытие** методами Виртуальной Обсерватории **184 компактных эллиптических галактик в группах** и скоплениях галактик в ближней Вселенной. **Открытие 11 изолированных компактных эллиптических галактик** и вывод о механизме их выбрасывания из родительских скоплений галактик при помощи **эффекта пращи** при сближении трех тел.

Положения, выносимые на защиту

- ❖ **Каталог RCSED** распределений энергии в спектре в 11 полосах в ультрафиолетовом, оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах для 800 299 близких галактик с морфологическими свойствами, а также свойствами звездного населения и ионизованного газа; **база данных и веб-приложение** для доступа и анализа разнообразных продуктов каталога RCSED в сети Интернет.
- ❖ Крупнейшие каталоги рентгеновских источников **3XMM-DR5 и 3XMM-DR6**; научное **веб-приложение** для анализа продуктов данных этих каталогов; база данных всех фотонов, когда либо зарегистрированных обсерваторией *XMM-Newton*, и веб-приложение для извлечения барицентрированных и калиброванных по энергии **временных рядов фотонов**, пригодных для научного анализа, в сети Интернет.
- ❖ **Открытие первого в Туманности Андромеды и самого медленного из известных постоянного рентгеновского пульсара** в шаровом скоплении, находящегося на раннем этапе раскручивания, являющегося членом самой широкой из известных в шаровых скоплениях рентгеновских двойных систем.
- ❖ **Первая статистически значимая выборка кандидатов в гипер-яркие рентгеновские источники**; ограничение на чистоту выборки кандидатов; вывод о существовании и наблюдаемости популяции гипер-ярких рентгеновских источников.