

Отчет за пять лет

А. Г. Куранов
научный сотрудник
отдел релятивистской астрофизики

13 декабря 2022

Слияние компактных объектов

На основании серии расчетов методом популяционного синтеза построены распределения удельного объемного темпа **слияния систем двойных компактных звезд (НЗ+ЧД и ЧД+ЧД)** и ожидаемого числа детектирования таких систем в текущих наблюдениях **LIGO/Virgo O3**. Расчеты проводились с учетом эволюции металличности звезд (в том числе и для звезд с нулевой металличностью - Население III) и темпа звездообразования во Вселенной.

Моделирование различных типов рентгеновских двойных систем

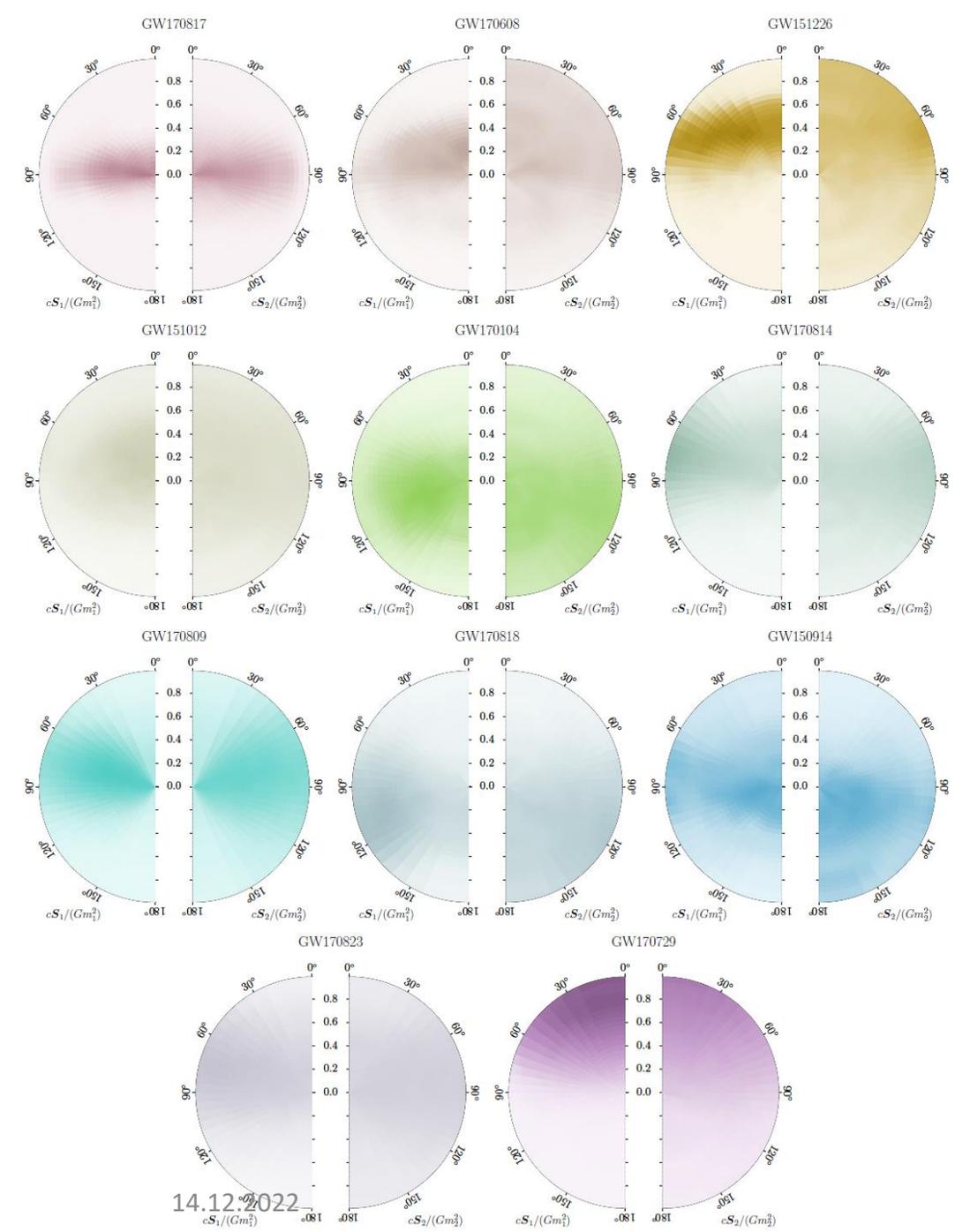
- Методом популяционного синтеза изучается эволюция **симбиотических рентгеновских двойных в Галактике**. Показано, что учет нестационарности режима квази-сферической дозвуковой аккреции из звездного ветра гиганта на медленно вращающиеся нейтронные звезды в этих источниках позволяет описать их наблюдаемое положение на диаграмме период вращения нейтронной звезды - рентгеновская светимость в широком диапазоне параметров звездного ветра.
- Стандартная эволюция ТДС с учетом особенностей **аккреции на замагниченные НЗ** позволяет количественно объяснить наблюдаемые свойства **NULX** (рентгеновские светимости, периоды вращения НЗ, орбитальные периоды ТДС и массы оптических компонентов), не требуя дополнительных модельных предположений о коллимации рентгеновского излучения от НЗ с высокой с наблюдаемой сверхэддингтоновской светимостью.
- Моделирование **функции рентгеновской светимости** (ФРС) аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр в диапазоне $10^{35} \leq L_x \leq 10^{41}$ эрг/с в звездообразующих галактиках и галактиках с начальной вспышкой звездообразования.

Моделирование эволюции различных типов ТДС

- He-star donor **AM CVn** stars and their progenitors as LISA sources
- 2020 Galactic population of black holes in detached binaries with low-mass stripped helium stars: the case of **LB-1 (LS V+22 25)**
- 2018 A young contracting white dwarf in the peculiar binary **HD 49798/RX J0648.0-4418?**

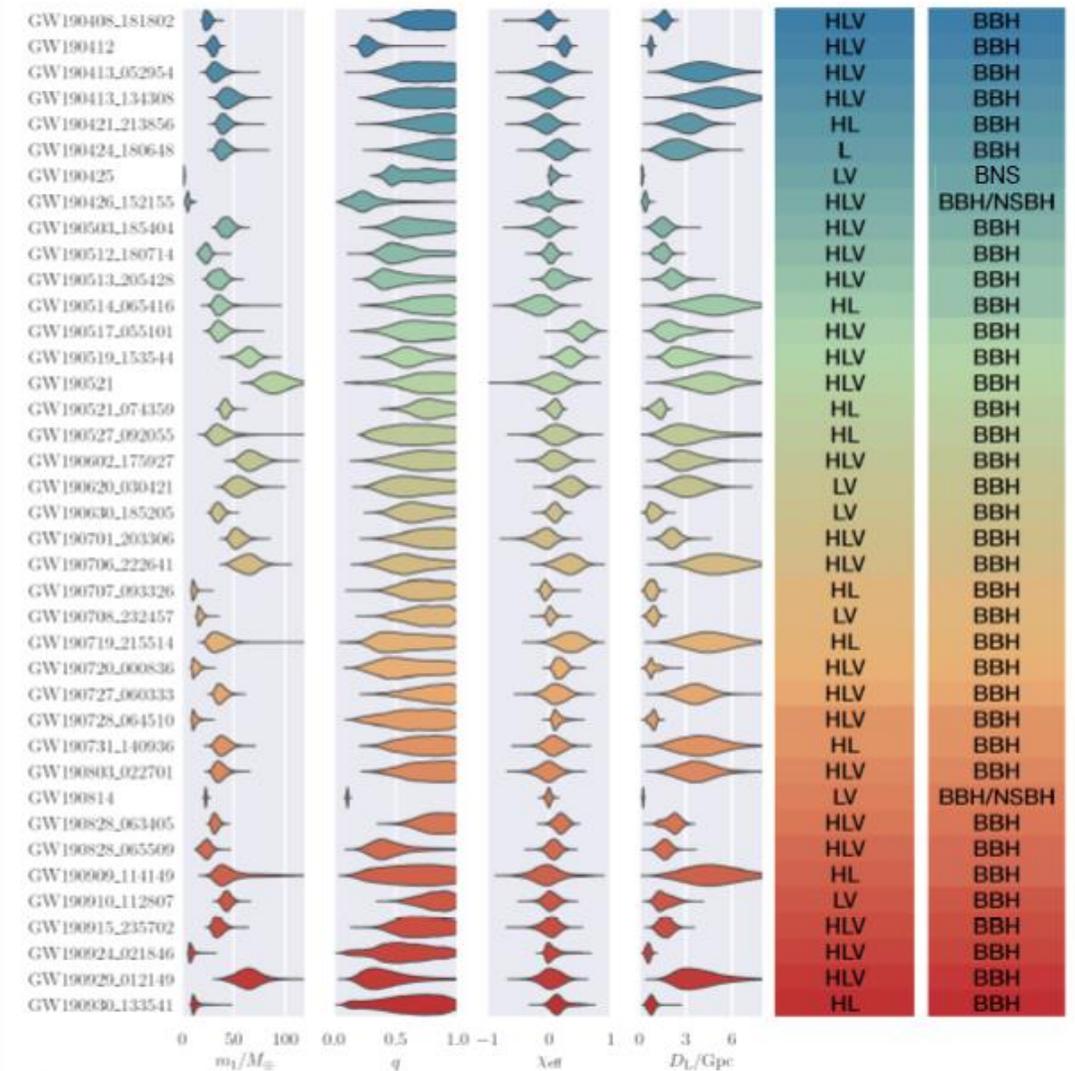
Статьи по слиянию компактных объектов

- **2020 On mass distribution of coalescing black holes**
Dolgov A.D., Kuranov A.G., Mitichkin N.A., Porey S., Postnov K.A., Sazhina O.S., Simkin I.V.
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, № 12, с. 1-18
- **2019 Black hole spins in coalescing binary black holes**
Postnov K.A., Kuranov A.G.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, том 483, № 3, с. 3288-3306
- **2019 Moments of black hole impulses in merging binary systems**
Postnov Konstantin A., Kuranov A.G., Mitichkin N.A.
Physics Uspekhi, том 62, № 11, с. 1153-1161
- **2019 ВОЗМОЖНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ СЛИЯНИИ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ ИЗ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДЫ И ЧЕРНОЙ ДЫРЫ**
Постнов К.А., Куранов А.Г., Симкин И.В.
Письма в Астрономический журнал, том 45, № 11, с. 787-798
- **2018 Collapse of Rotating Stellar Cores in Single and Binary Systems: From SN 1987A to Coalescing Black Holes**
Postnov K.A., Kuranov A.G., Physics of Atomic Nuclei, том 81, № 1, с. 146-156



Gravitational-Wave Transient Catalog 2

Compact Binary Coalescences from the first part of the third Observing Run (O3a)



The 39 new events reported in the catalog are listed above with their primary mass in solar masses, m_1/M_\odot , mass ratio, $q = m_2/m_1$, effective spin perpendicular to the orbital plane, χ_{eff} , and distance, D_L .

Also listed are the detectors that observed each event (*H*: Hanford, *L*: Livingston, *V*: Virgo) and the most likely source classification (*BBH*: Binary Black Hole, *BNS*: Binary Neutron Star, *NSBH*: Neutron Star Black Hole).

14.12.2022

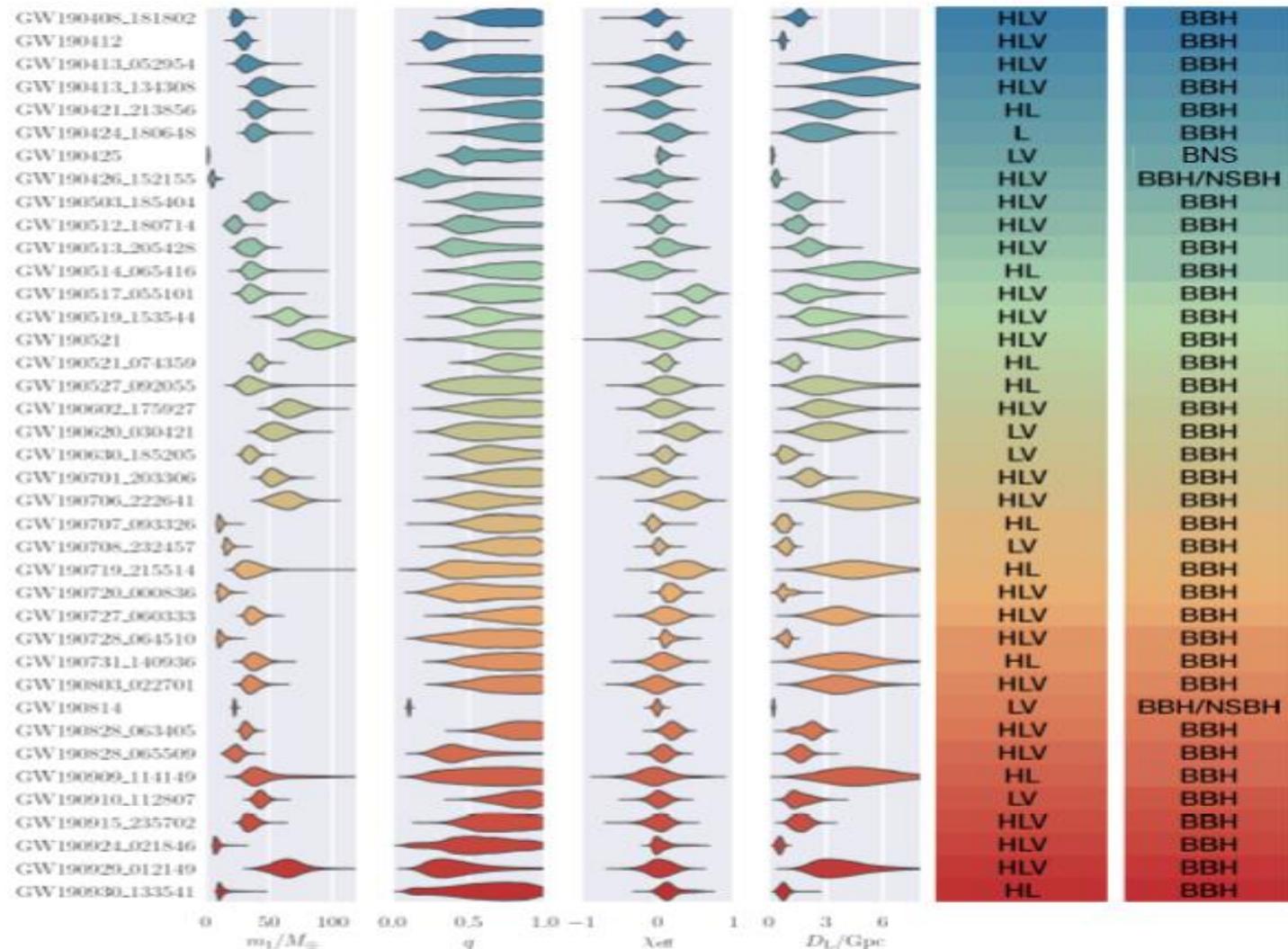
Gravitational-Wave Transient Catalog 2

Compact Binary Coalescences from the first part of the third Observing Run (O3a)



$$\mathcal{M} = \frac{(m_1 m_2)^{3/5}}{M^{1/5}}$$

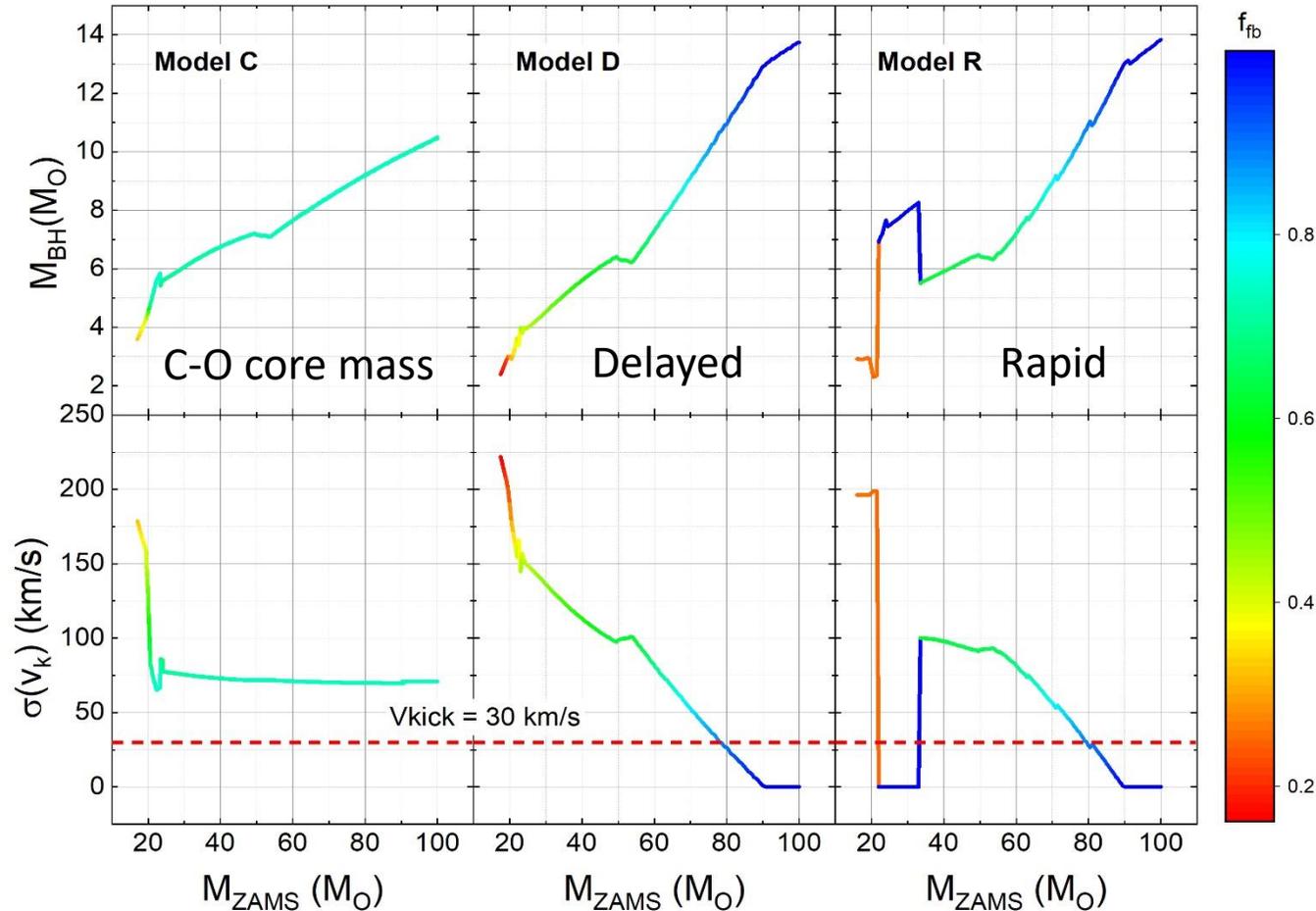
$$\chi_{\text{eff}} = \frac{(m_1 \vec{\chi}_1 + m_2 \vec{\chi}_2) \cdot \hat{L}_N}{M}$$



The 39 new events reported in the catalog are listed above with their primary mass in solar masses, m_1/M_\odot , mass ratio, $q = m_2/m_1$, effective spin perpendicular to the orbital plane, χ_{eff} , and distance, D_L .

Also listed are the detectors that observed each event (H: Hanford, L: Livingston, V: Virgo) and the most likely source classification (BBH: Binary Black Hole, BNS: Binary Neutron Star, NSBH: Neutron Star Black Hole).

Формирование ЧД



- From C-O core mass:

$$M_{bh} = 0.9 M_{co}$$

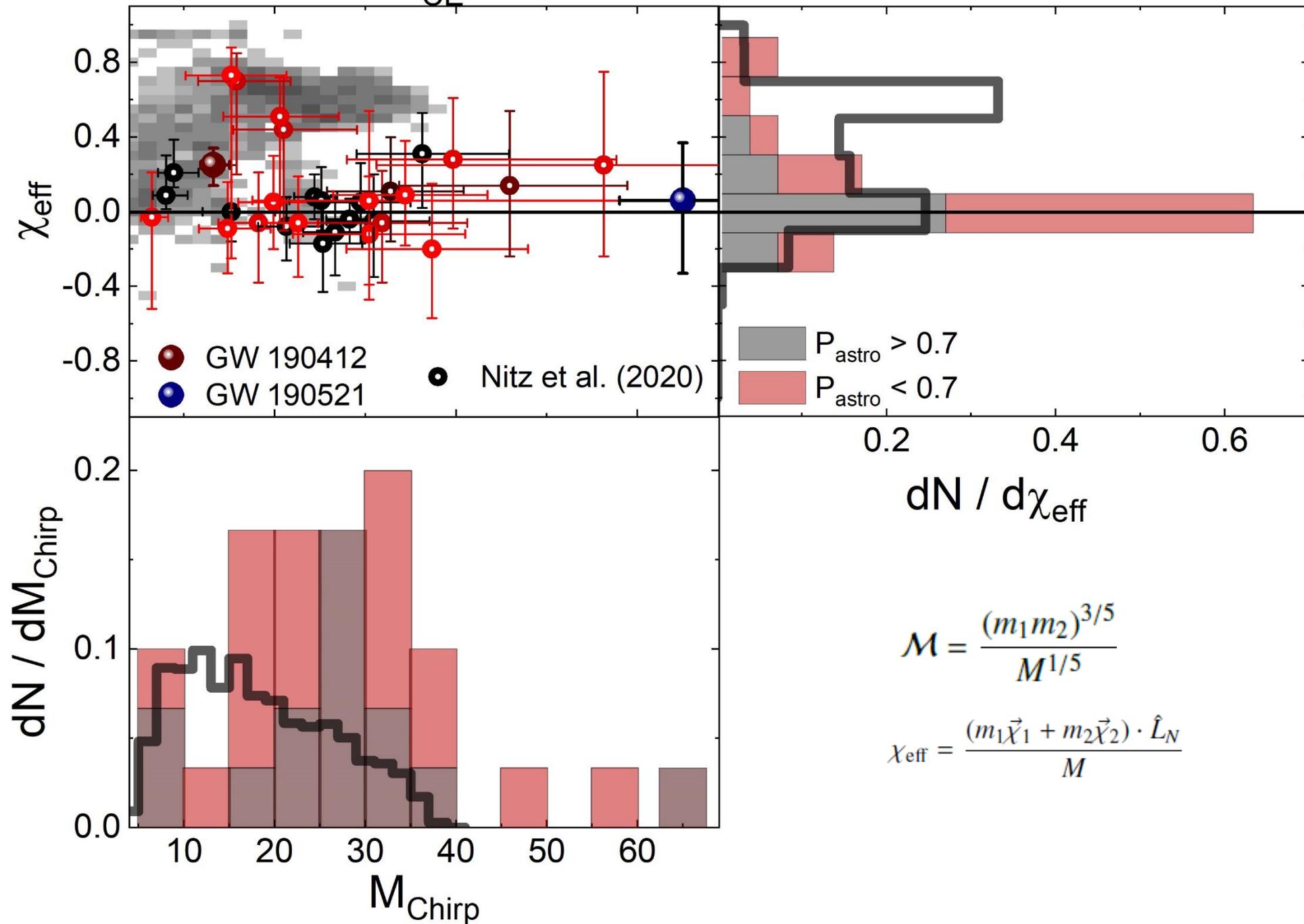
- + additional fallback from stellar envelope:

$$M_{bh} = 0.9 (M_{Fe} + \Delta M)$$

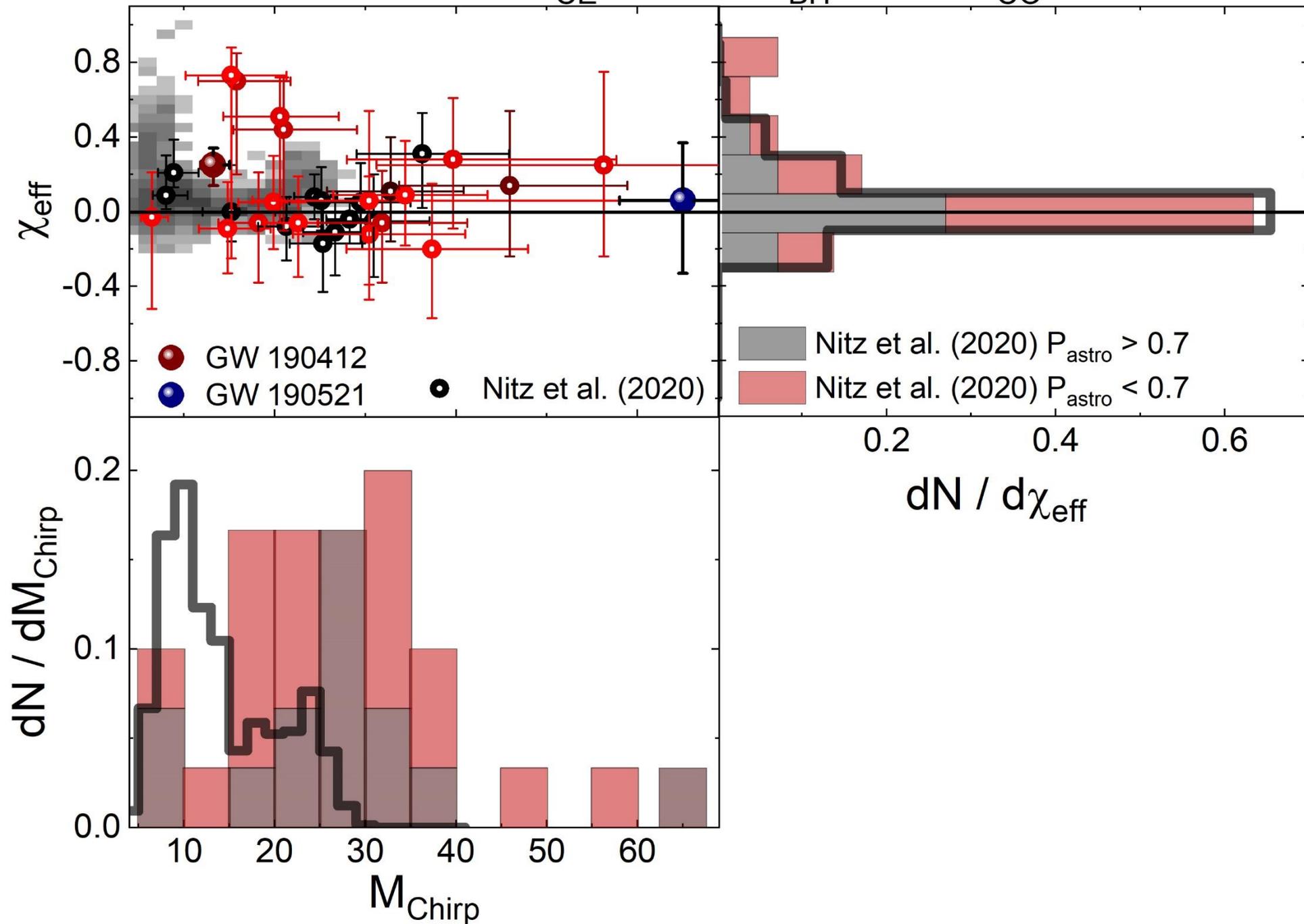
$$v_k = (1 - f_b) v$$

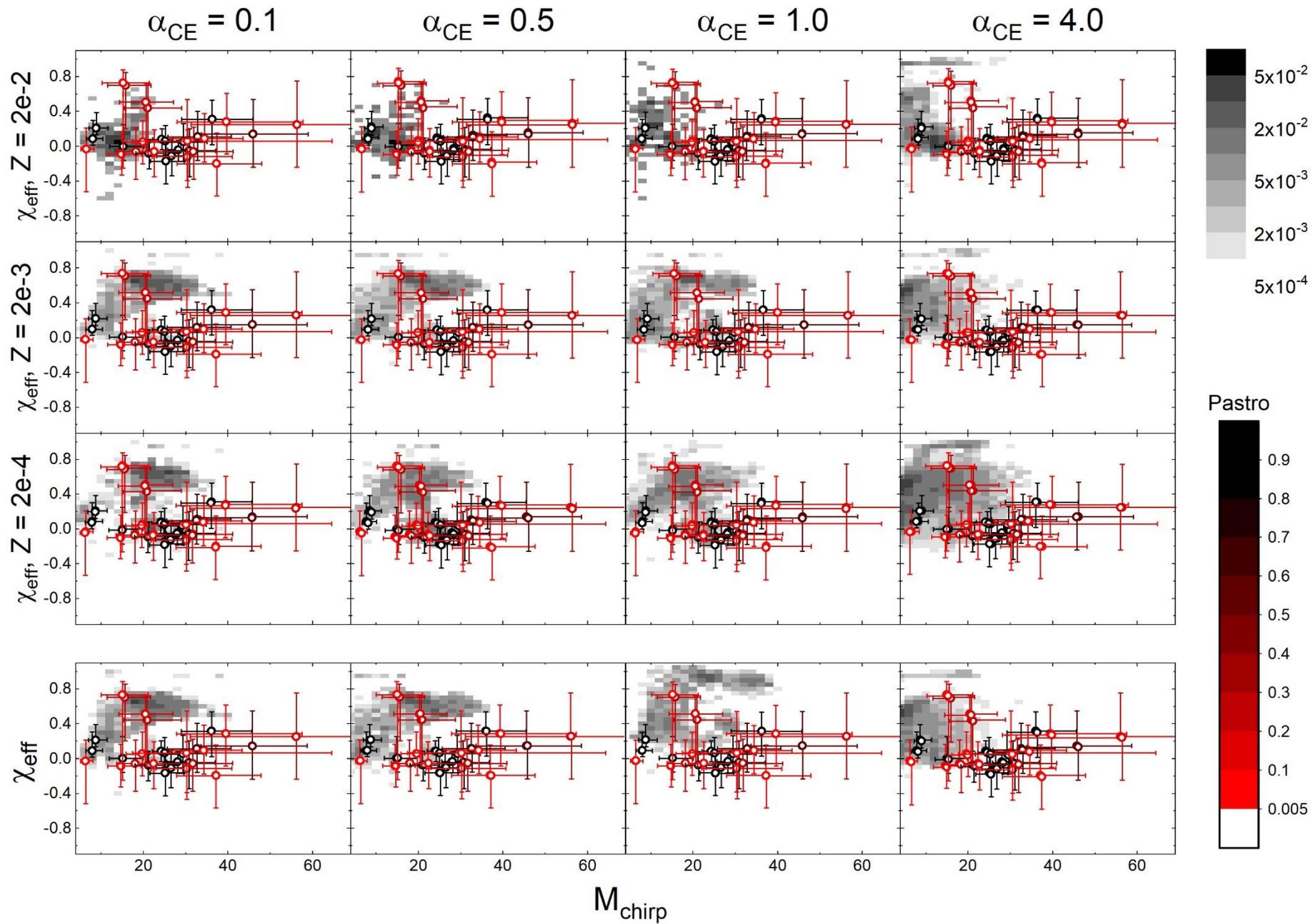
$$f_b = M_{fb} / (M_{fin} - M_{pro})$$

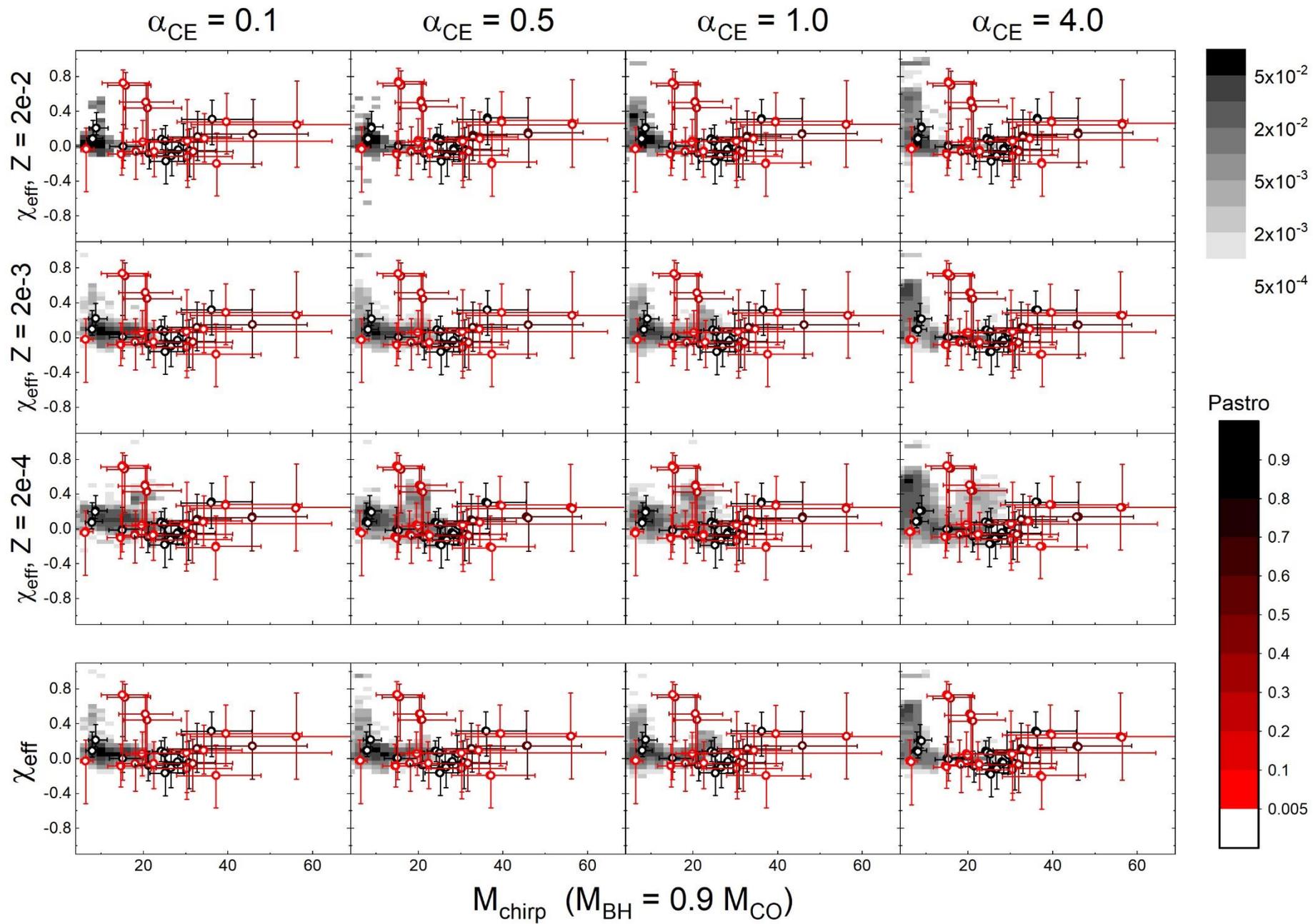
$$\alpha_{CE} = 1.0$$



$\alpha_{\text{CE}} = 1.0, M_{\text{BH}} = 0.9 M_{\text{CO}}$







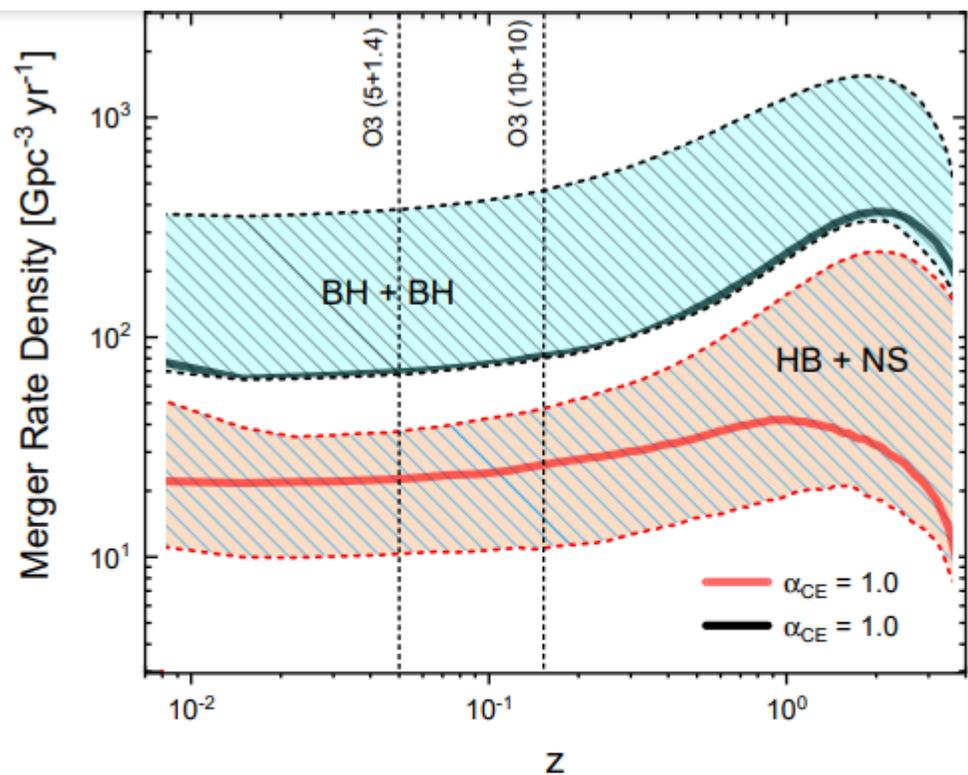


Figure 2: Space density of coalescent rate of black hole – black holes (BH+BH) and neutron star – black hole (BH+NS) binaries (per year per cubic Gpc) as a function of cosmological redshift for a range of the common envelope efficiency parameter α_{CE} with taking into account of the star formation rate and stellar metallicity evolution in the Universe. The upper and lower boundaries of the hatched regions correspond to $\alpha_{\text{CE}} = 4.0$ and $\alpha_{\text{CE}} = 0.5$, respectively, the thick lines correspond to $\alpha_{\text{CE}} = 1.0$. The vertical dashed lines show the LIGO/Virgo O3 detection horizon for the coalescing compact binaries with component masses $5 + 1.4M_{\odot}$ and $10 + 10M_{\odot}$.

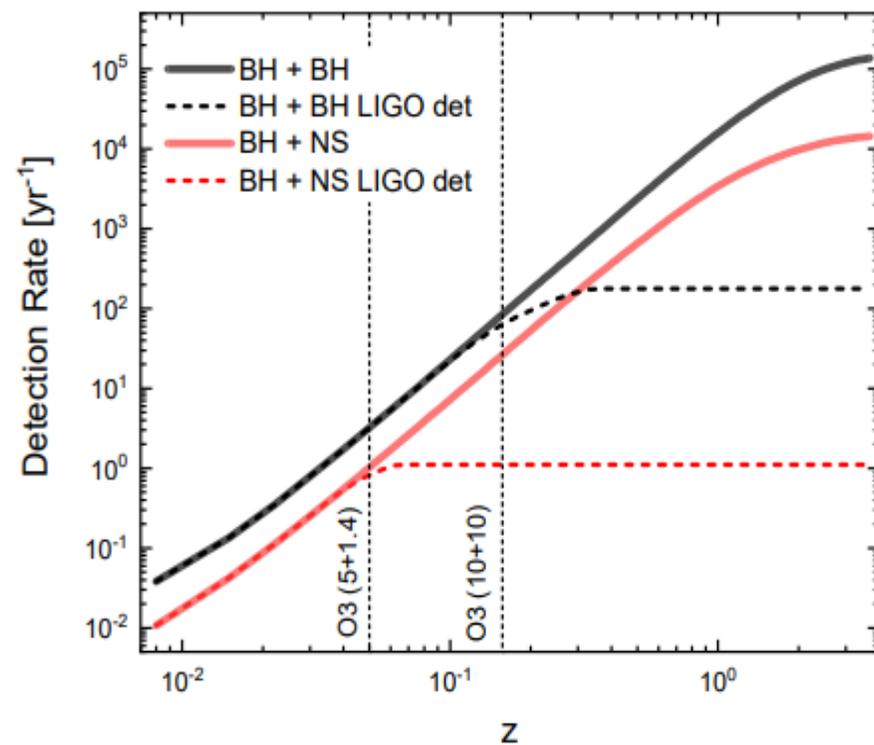


Figure 3: The expected event rate per year of compact binary coalescences (integrated volume rate up to distances corresponding to given redshift z) as a function of the limiting redshift (the detection horizon). The rate is calculated with an account of the star formation and stellar metallicity evolution in the Universe and for the assumed common envelope efficiency parameter $\alpha_{\text{CE}} = 1$. The thick black and red curves correspond to BH+BH and BH+NS coalescences, respectively. The dashed curves show the expected number of LIGO/Virgo O3 detections for the average orbit viewing angles $\mathcal{R}_{\text{BHBH}} \sim 2 \times 10^2 \text{ yr}^{-1}$ and $\mathcal{R}_{\text{BHNS}} \sim 1 \text{ yr}^{-1}$ for BH+BH and BH+NS events, respectively. The vertical dashed lines show the O3 LIGO/Virgo detection horizon for binaries with masses $5 + 1.4M_{\odot}$ and $10 + 10M_{\odot}$.

Статьи по рентгеновским источникам

- **2022 X-ray luminosity function of accreting neutron stars and black holes**
Postnov K., Kuranov A., Yungelson L., Gil'fanov M.
Proceedings of the VAK-2021 conference, Aug 23–28, 2021
- **2021 ПОПУЛЯЦИИ УЛЬТРАЯРКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ В ГАЛАКТИКАХ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ** *Куранов А.Г., Постнов К.А., Юнгельсон Л.Р.*
ПАЖ том 47, № 12, с. 866-891
- **2020 ПОПУЛЯЦИОННЫЙ СИНТЕЗ УЛЬТРАЯРКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ С ЗАМАГНИЧЕННЫМИ НЕЙТРОННЫМИ ЗВЕЗДАМИ**
Куранов А.Г., Постнов К.А., Юнгельсон Л.Р.
ПАЖ, том 46, № 10, с. 702-720
- **2019 Wind-accreting Symbiotic X-ray Binaries**
Yungelson Lev R., Kuranov Alexandre G., Postnov Konstantin A.
MNRAS, том 485, № 1, с. 851-860

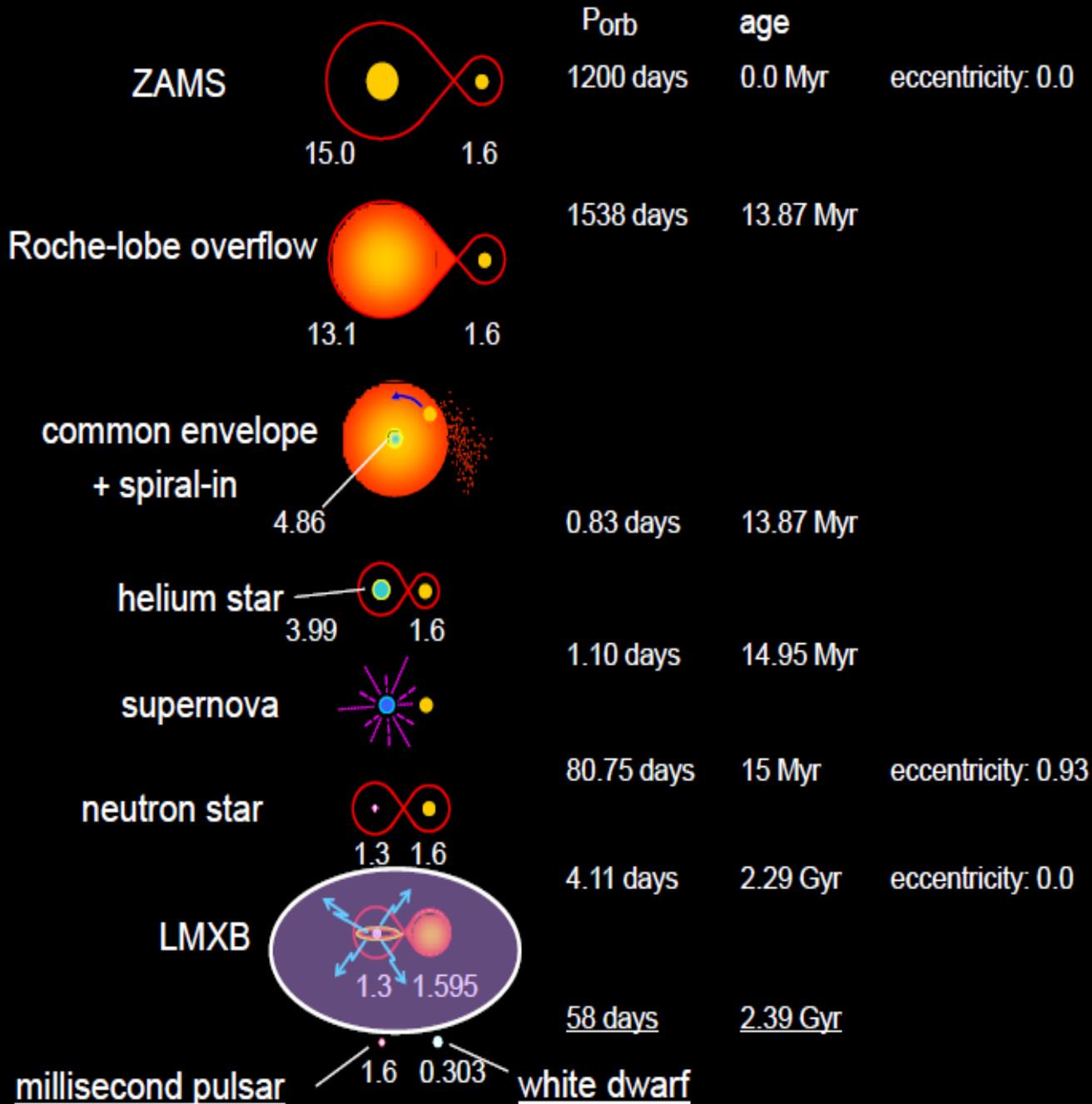
ULX

- Ультрарякие рентгеновские источники (ULX) — точечные рентгеновские источники, $L_x > 10^{39}$ эрг/с (0.3–10 кэВ)
- ULX были открыты обсерваторией Einstein в начале 1980х гг. (Лонг и ван Спейбрук, 1983)
- ULX наблюдаются как в спиральных и неправильных, так и в эллиптических галактиках. Наиболее яркие ULX встречаются в галактиках со звездообразованием.
- Это редкие объекты - в локальной Вселенной (40 Мпк) на галактику (вне зависимости от типа) приходится примерно два кандидата в ULX.
- В Млечном Пути известен единственный транзиентный источник Swift J0243.6+6124 (Кеннеа и др. 2017).
- Каталог (Уолтон и др., 2021) содержит 1843 кандидата в ULX в 951 галактике.

Природа ULX

- Черные дыры промежуточных масс аккрецирующие с субэддингтоновской скоростью.
- Фабрика и Мещеряков (2001) и Кинг и др.,(2001) независимо предположили, что наблюдаемые сверхэддингтоновские светимости ULX являются результатом фокусировки излучения сверхкритическим аккреционным диском вокруг к.о. звездной массы.
- С открытием пульсирующего рентгеновского излучения ULX (Бакетти и др.,2014) подтвердилось, что не только ВН, но и замагниченные NS в тесных двойных системах могут быть аккрецирующими компонентами ULX.
- Природа ULX активно обсуждается.

Ключевые параметры сценария



Общая оболочка

α л формализм [Webbink, 1984]

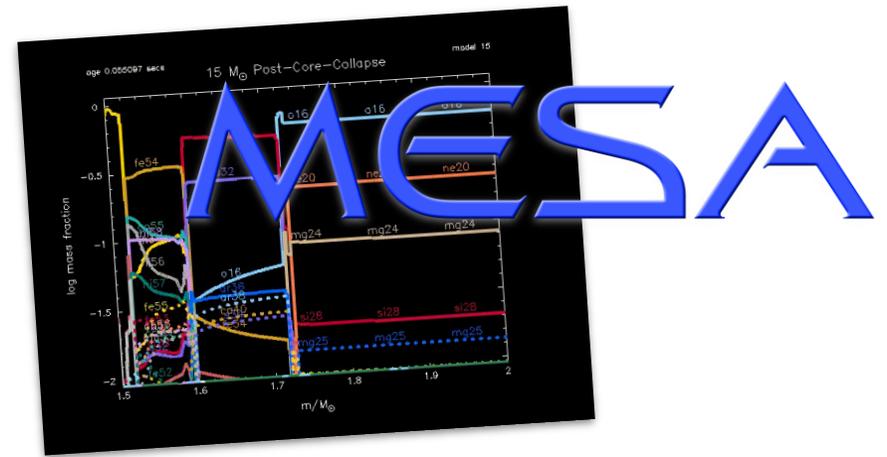
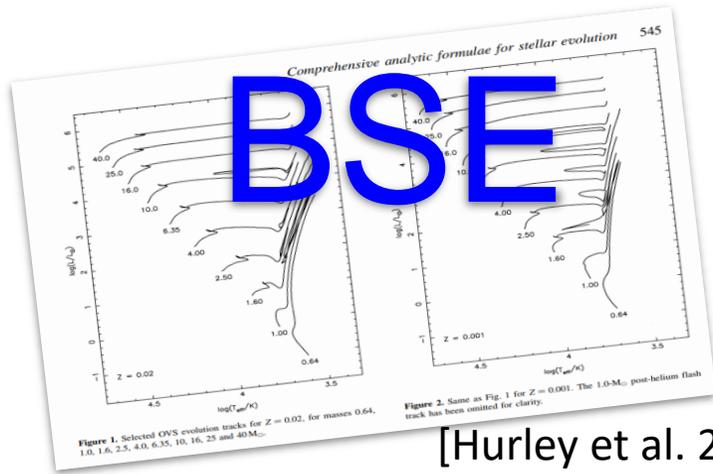
Вспышка сверхновой:

- масса КО
- скорость «кика»
- магнитное поле НЗ

Характер аккреции на КО:

- звездный ветер
- RLOF
- возможная неустойчивость аккреционных дисков
- учет фактора направленности («биминг»)

МЕТОД РАСЧЕТОВ



Main assumptions for initial population:

$Z=0.02$

Binarity rate: $B=0.5$

Salpeter IMF, $0.1 \leq M/M_{\odot} \leq 100$

Flat $f(q)$

$f(\log P) \sim \log_{10} P^{-0.55}$ [Sana et al. 2012]

Formation of NS: $M_{NS} = 1.4 M_{\odot}$

Natal kick: $V(NS)$ – Maxwellian, $\sigma=265$ km/s

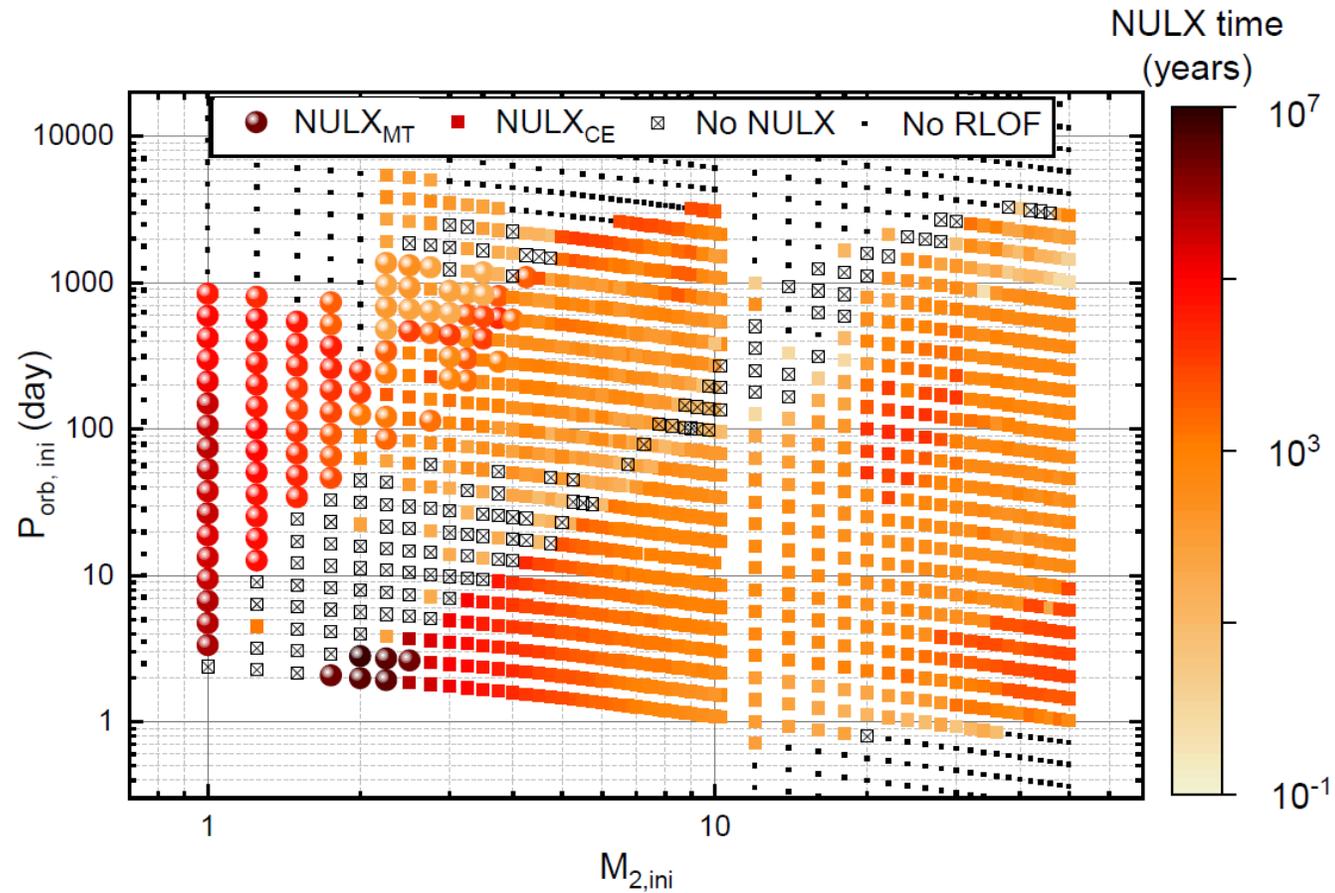
[Hobbs et al. 2005]

Distribution of magnetic momenta of nascent NS:

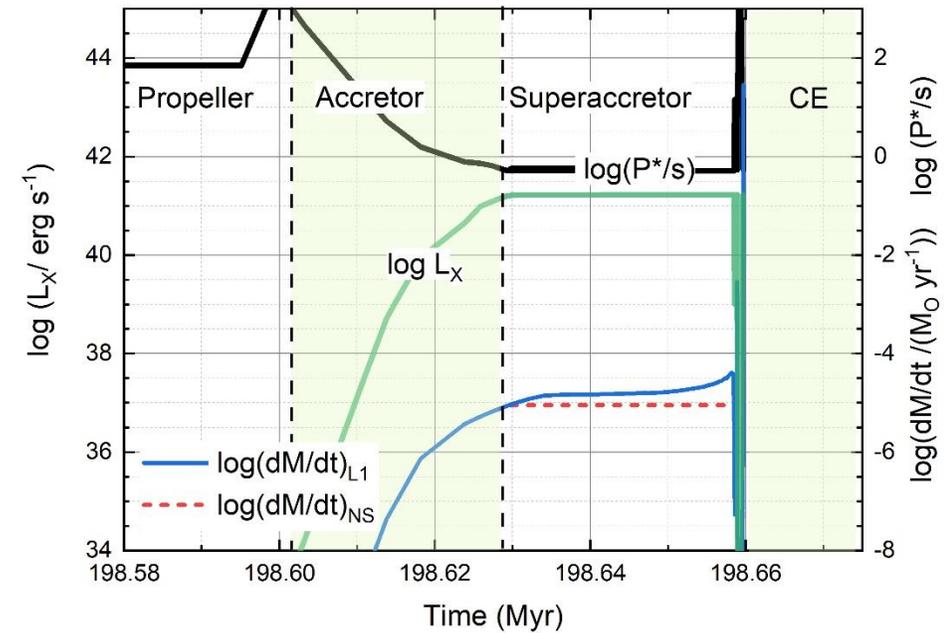
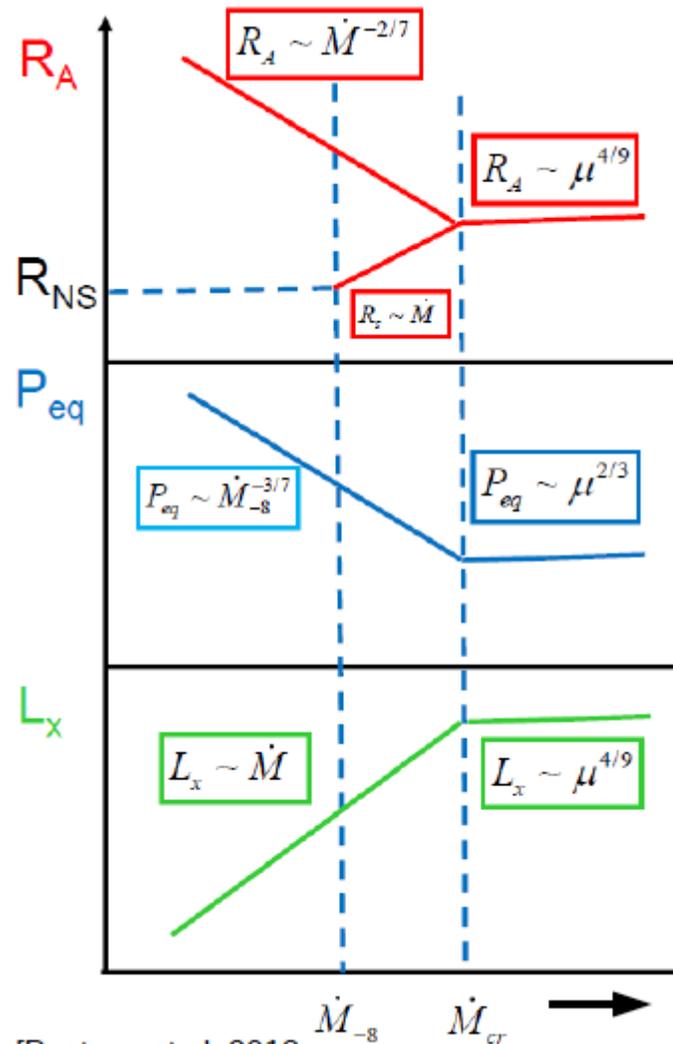
$$f(\mu) = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln \mu - \ln \mu_0)^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$\ln \mu_0 = 30.35, \quad \sigma = 0.55$$

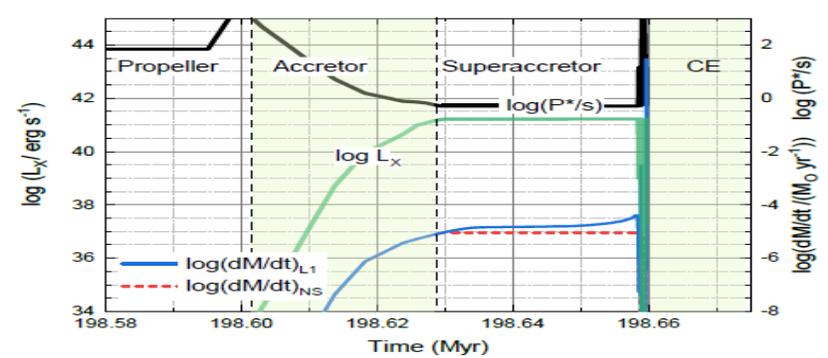
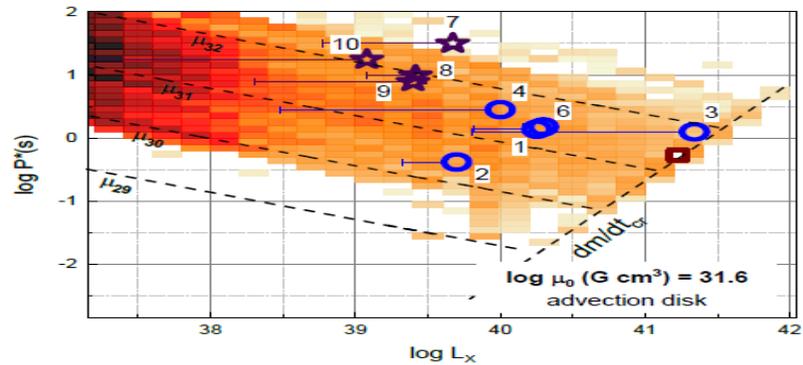
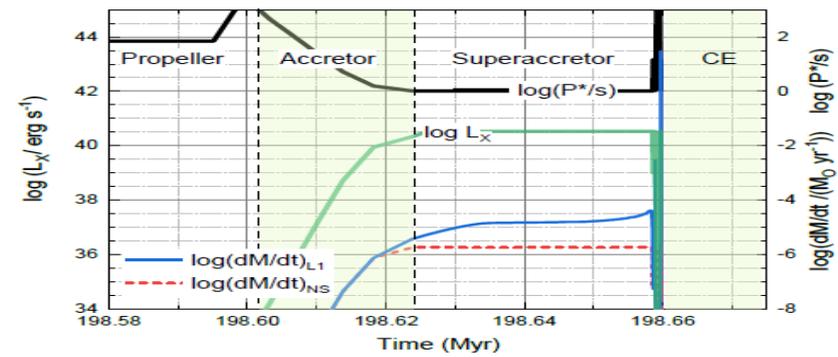
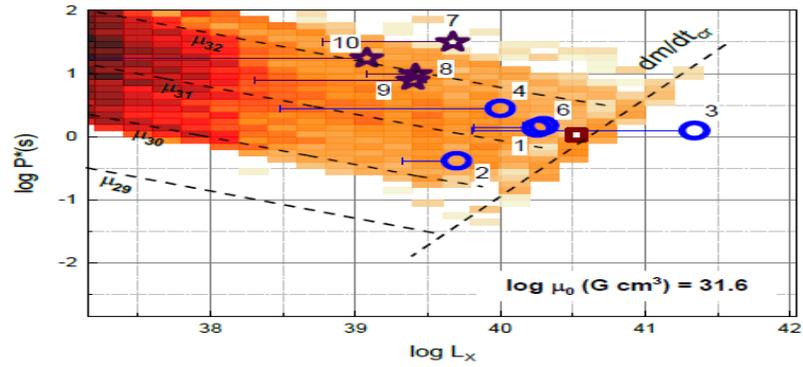
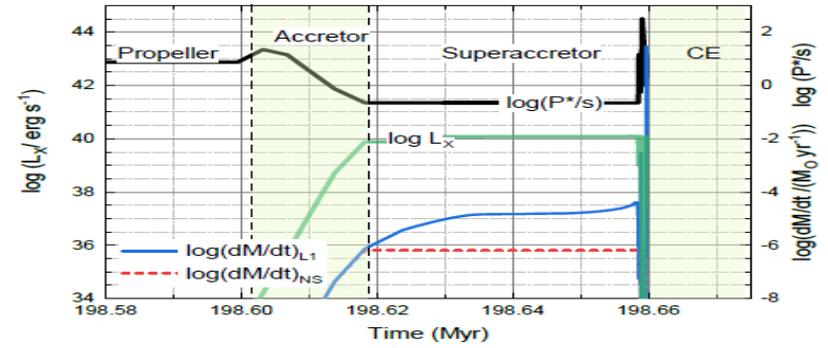
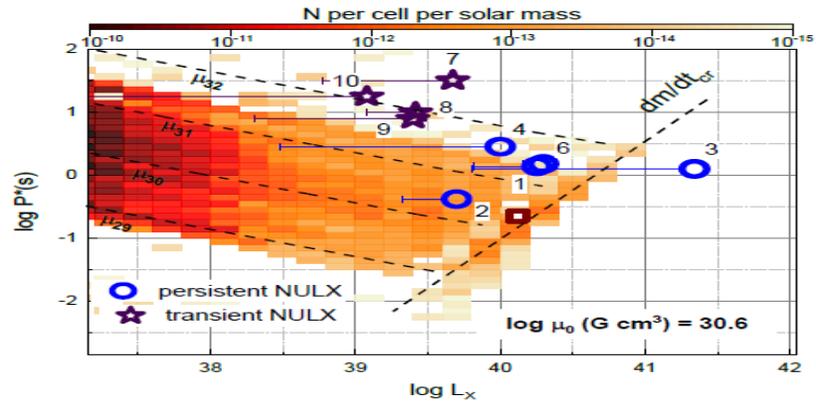
Популяционный синтез ультраярких рентгеновских источников с замагниченными нейтронными звездами



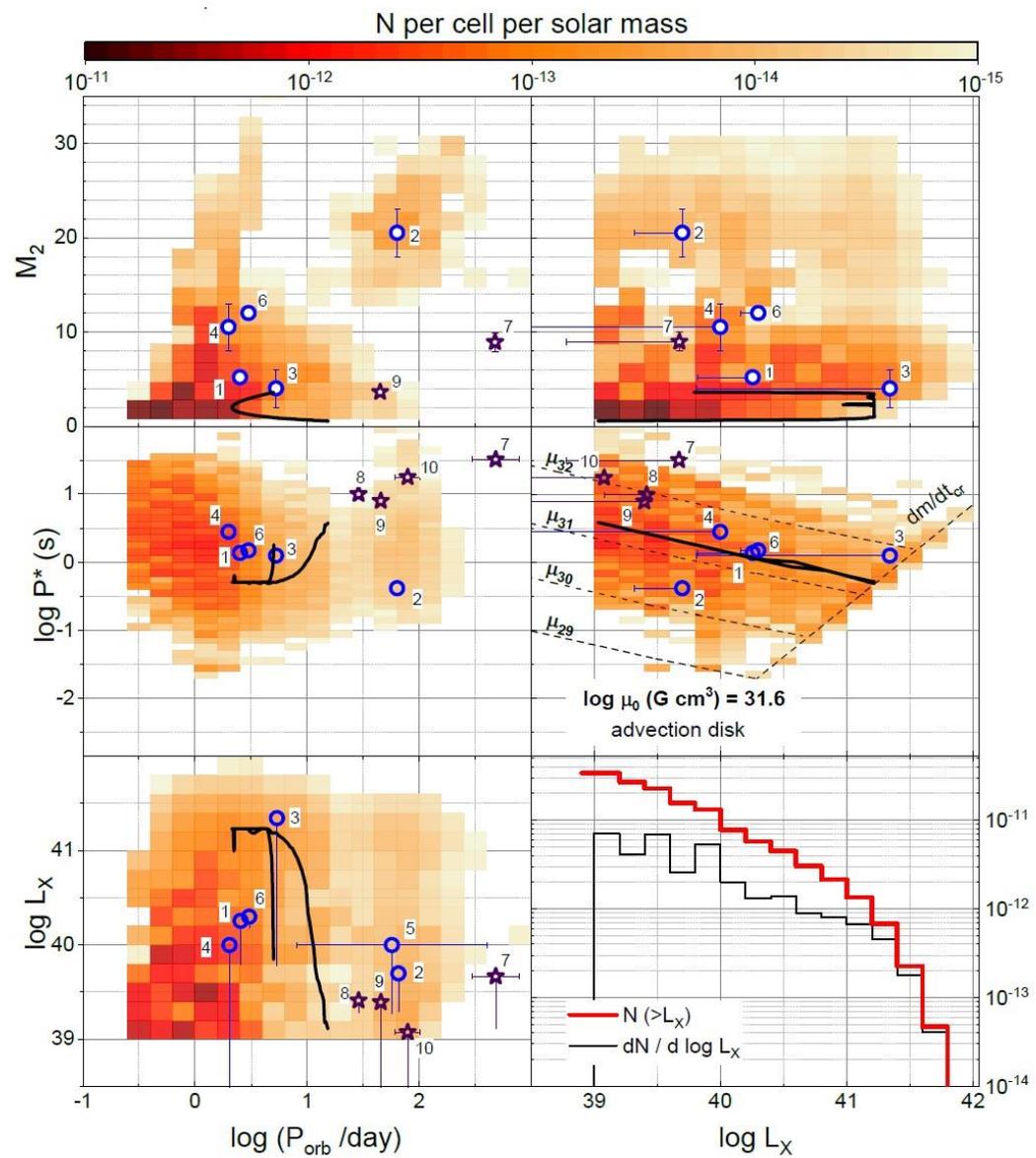
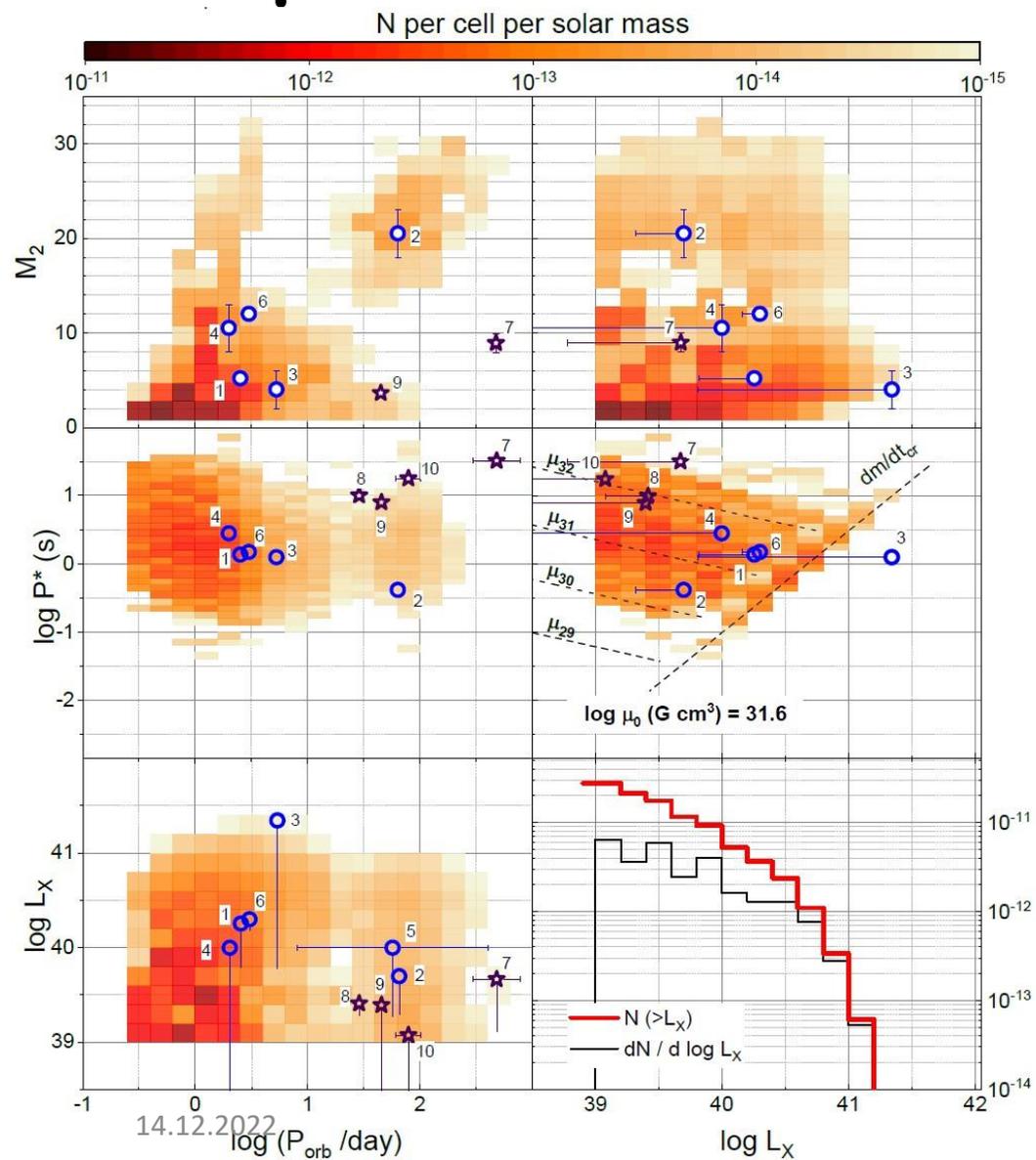
Аккреция на НЗ



[Postnov et al. 2018;
Grebenev 2017.]



Сравнения с наблюдениями NSULX



Дисковая аккреция на КО

Рентгеновская светимость

- $L_X = 0.1 \dot{M}_X c^2$, $\dot{M}_X < \dot{M}_{Edd}$
- $L_X = \frac{1 + \ln \dot{m}_0}{b} L_{Edd}(M_X)$, $\dot{M}_X > \dot{M}_{Edd}$

$$b = \max(10^{-3}, 73 / \dot{m}_0^2)$$

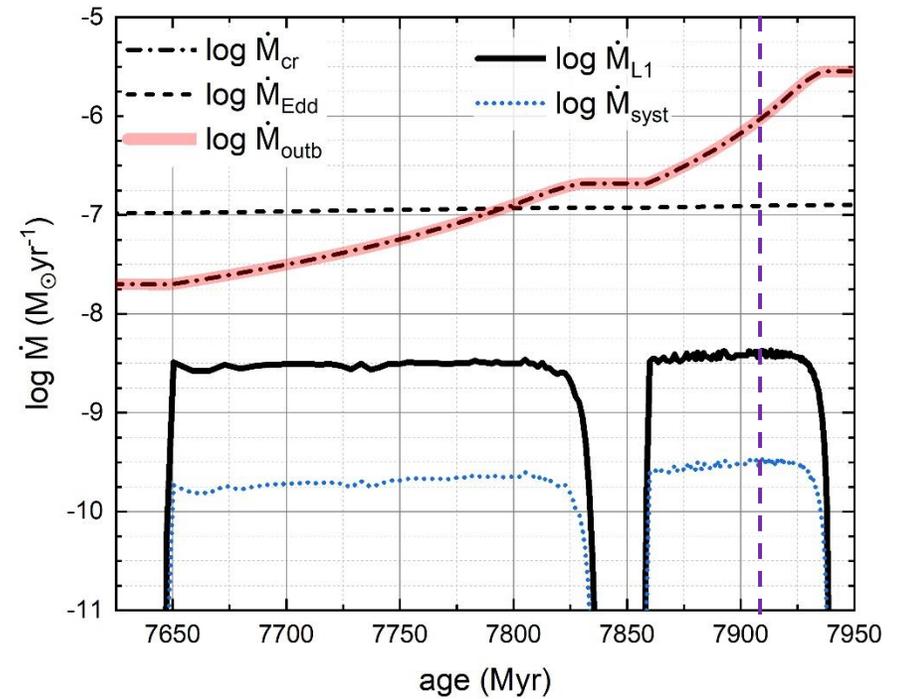
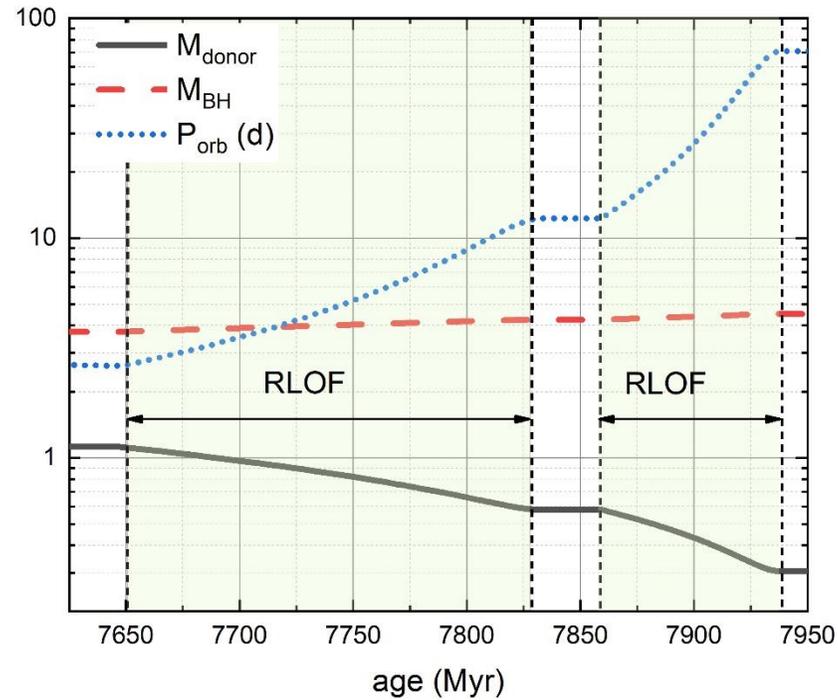
$$\dot{m}_0 = \dot{M}_X / \dot{M}_{Edd}$$

[A.R. King, 2009]

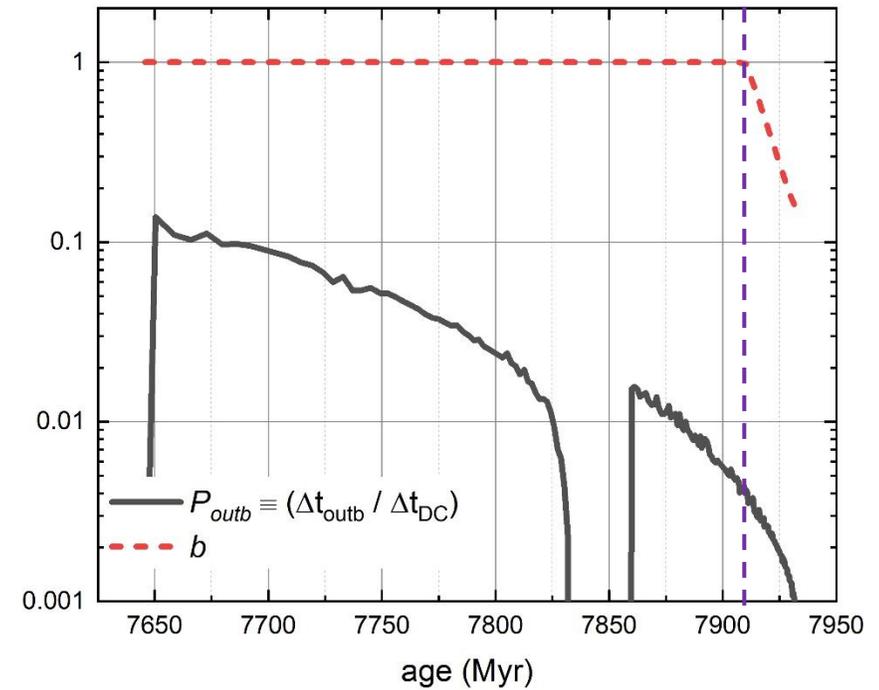
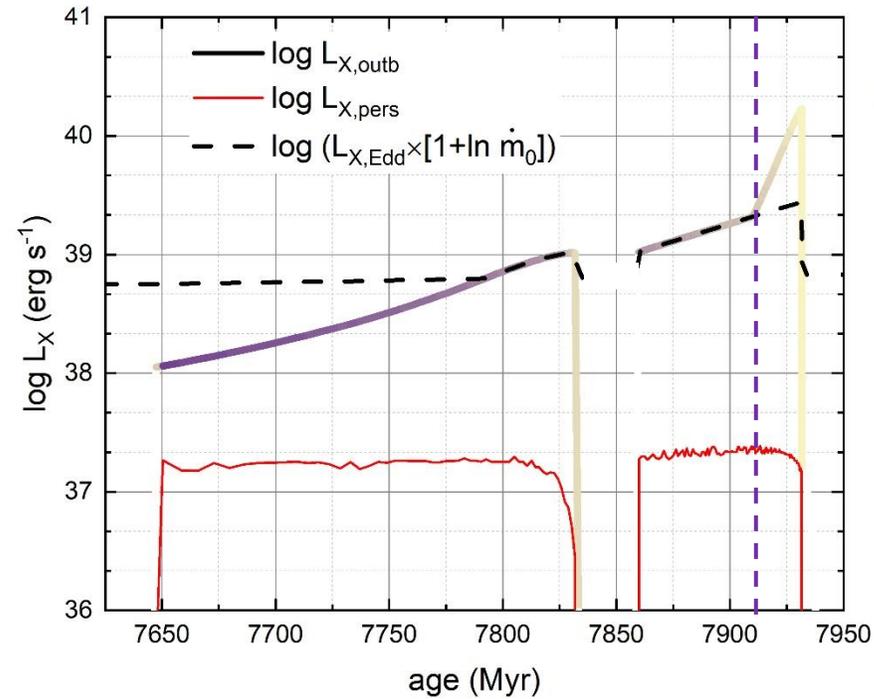
Дисковая неустойчивость

- $\dot{M}_X < \dot{M}_{crit}$ [G. Dubus, et al., 1999]
$$\dot{M}_{crit}^{irr} \approx 2.0 \times 10^{15} \left(\frac{M_1}{M_\odot} \right)^{0.5} \left(\frac{M_2}{M_\odot} \right)^{-0.2} P_{hr}^{1.4}$$
- $p_{outb} = \Delta t_{outb} / (\Delta t_{outb} + \Delta t)$
$$\Delta t_{outb} = M_{disk} / \dot{M}_X$$

Пример трека MESA стадия транзиечного источника

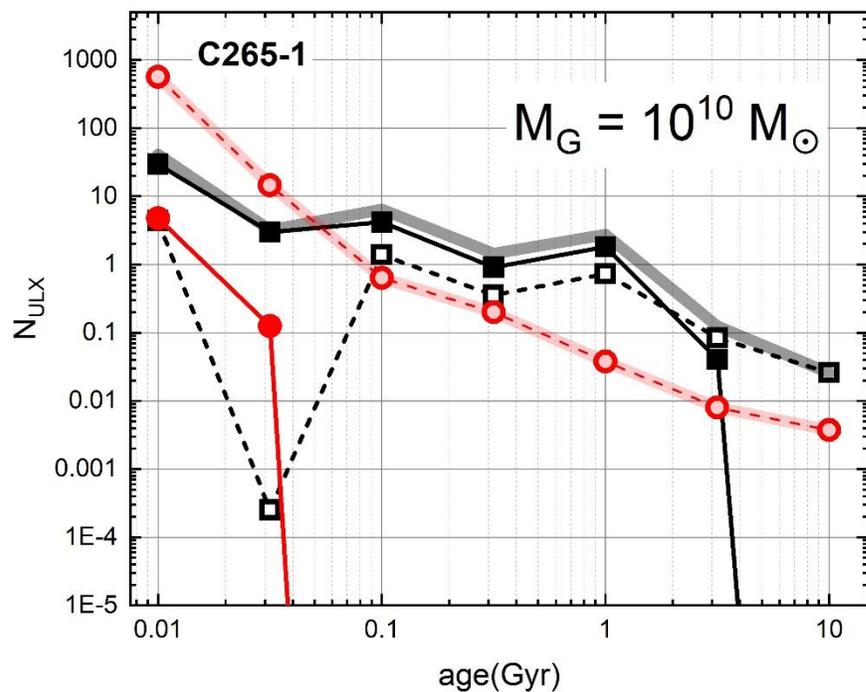


Пример трека MESA стадия транзиечного источника

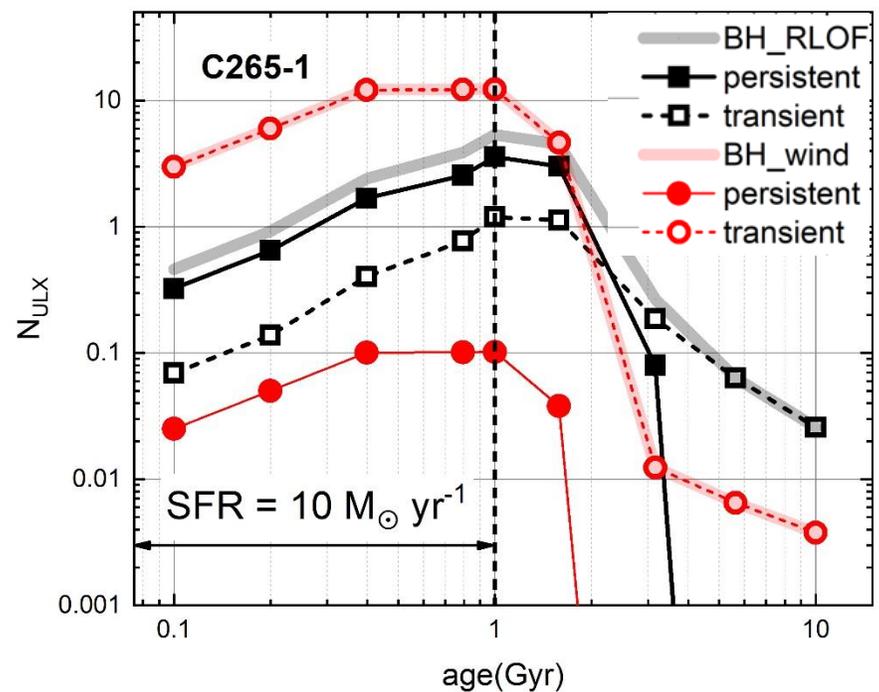


Эволюция численности BHULX

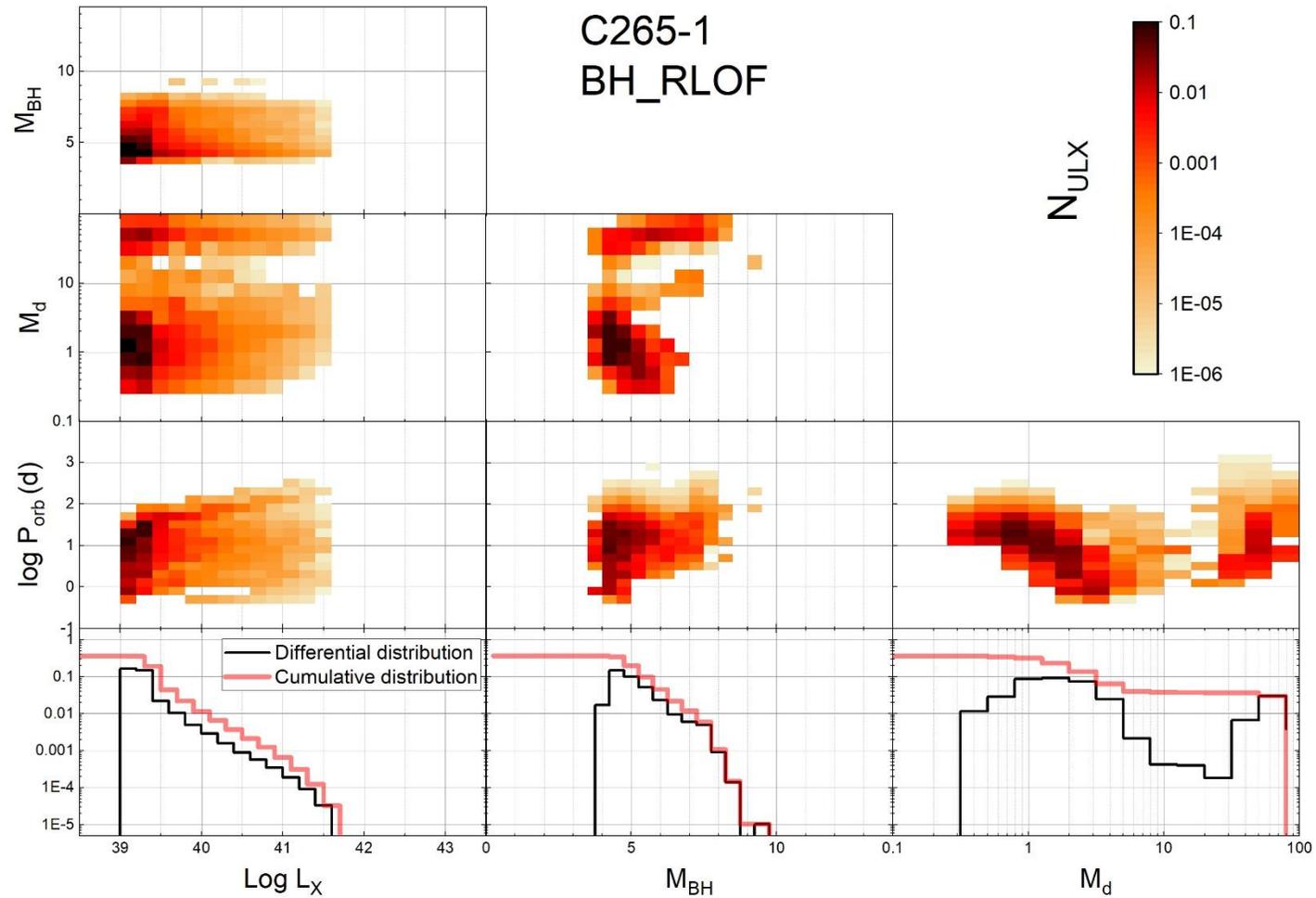
вспышка звездообразования



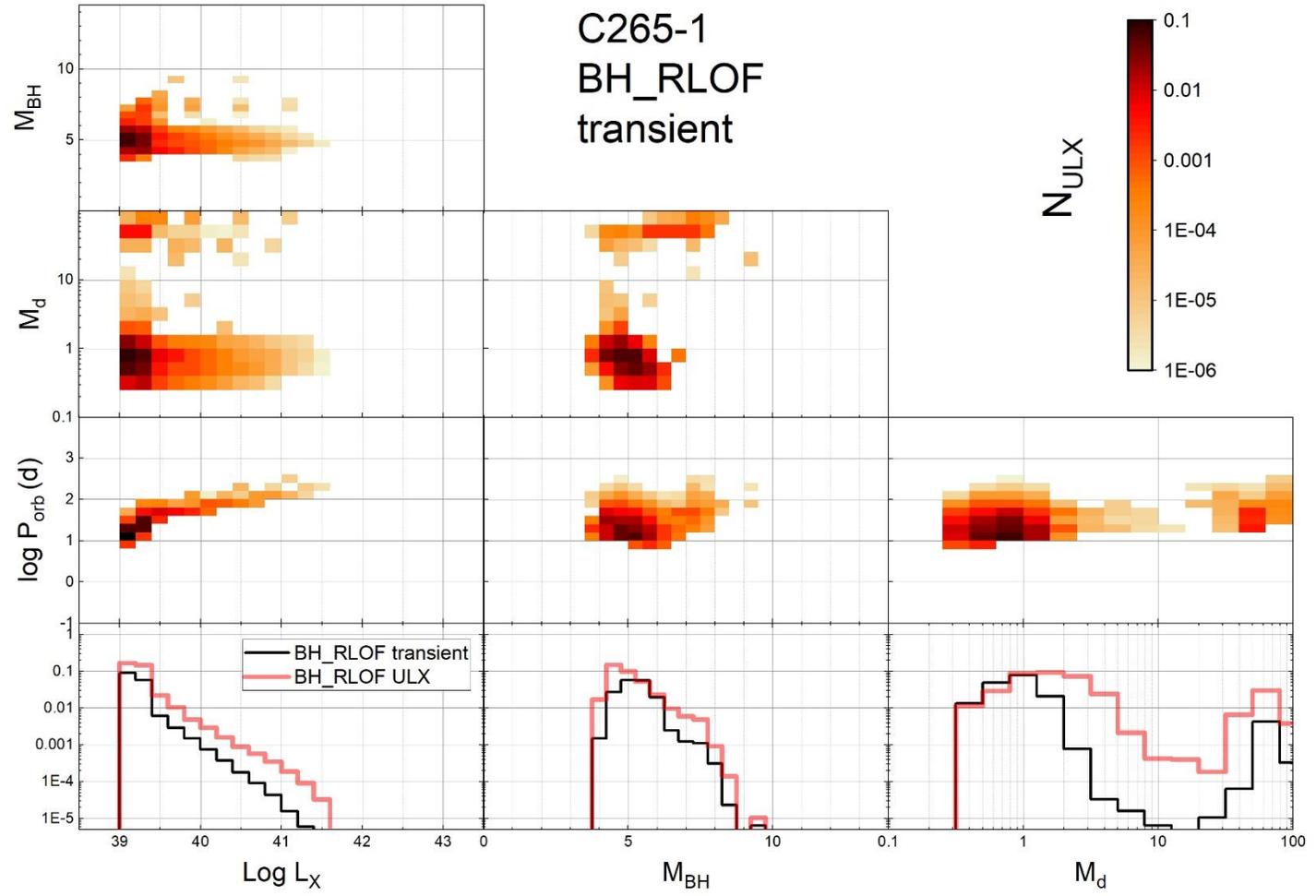
SFR = $10 M_\odot/\text{yr}$



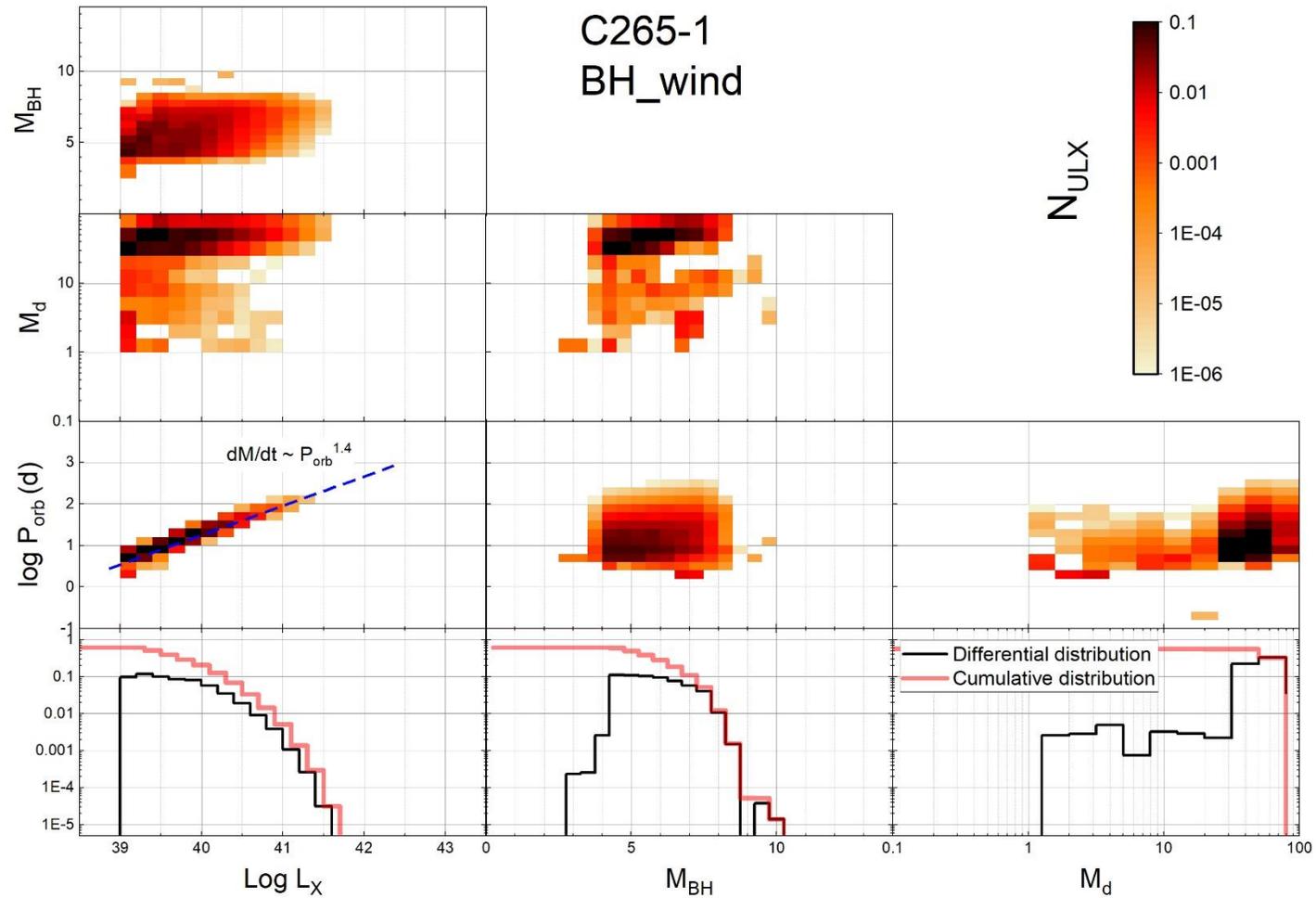
ВНУЛХ с донором, **заполняющим полость Роша**, на момент 10 млрд лет



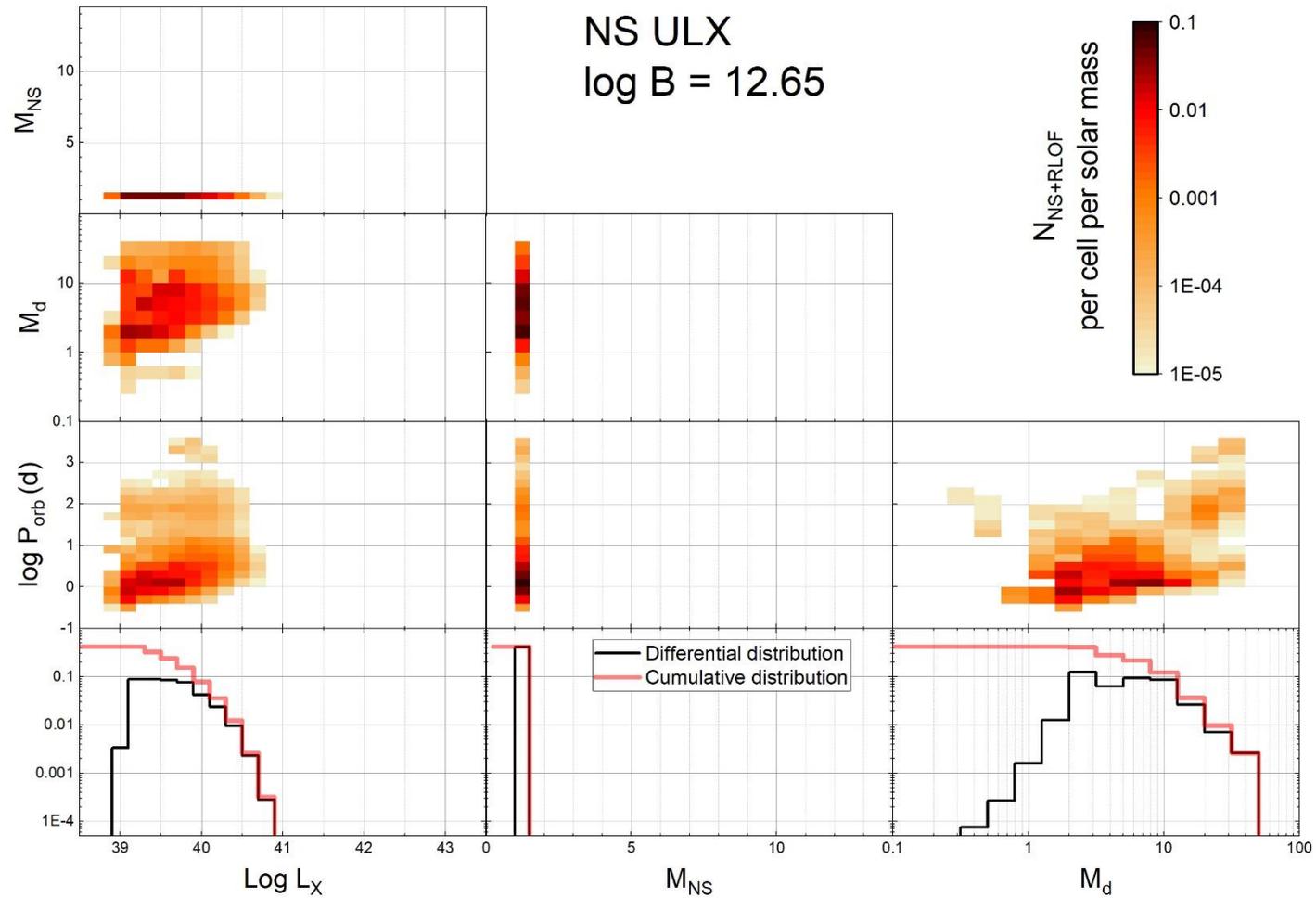
Из них: **транзиентные источники**



BHULX, аккреция из звездного ветра, на момент 10 млрд лет.

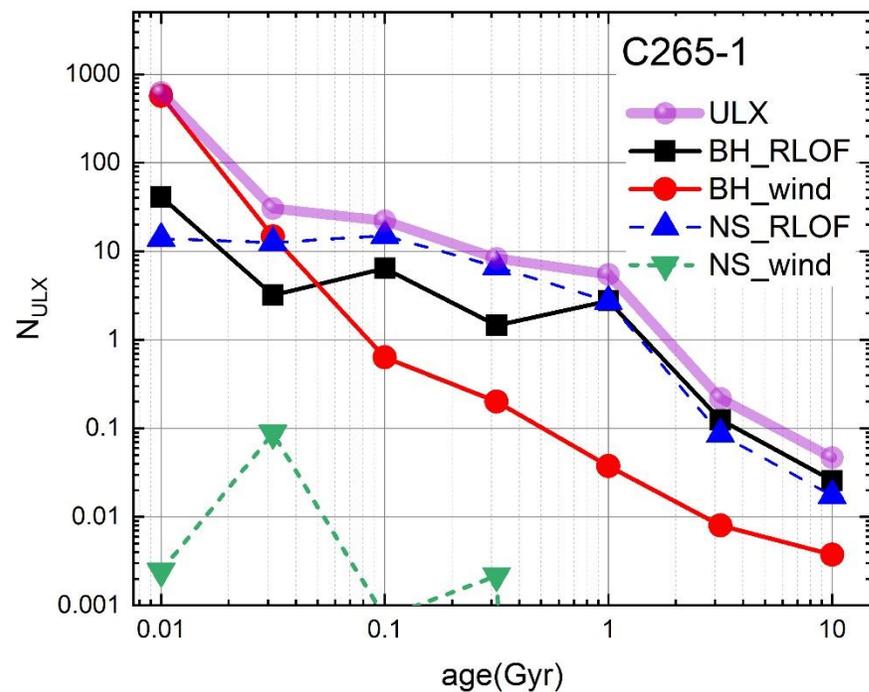


NSULX, на момент 10 млрд лет.

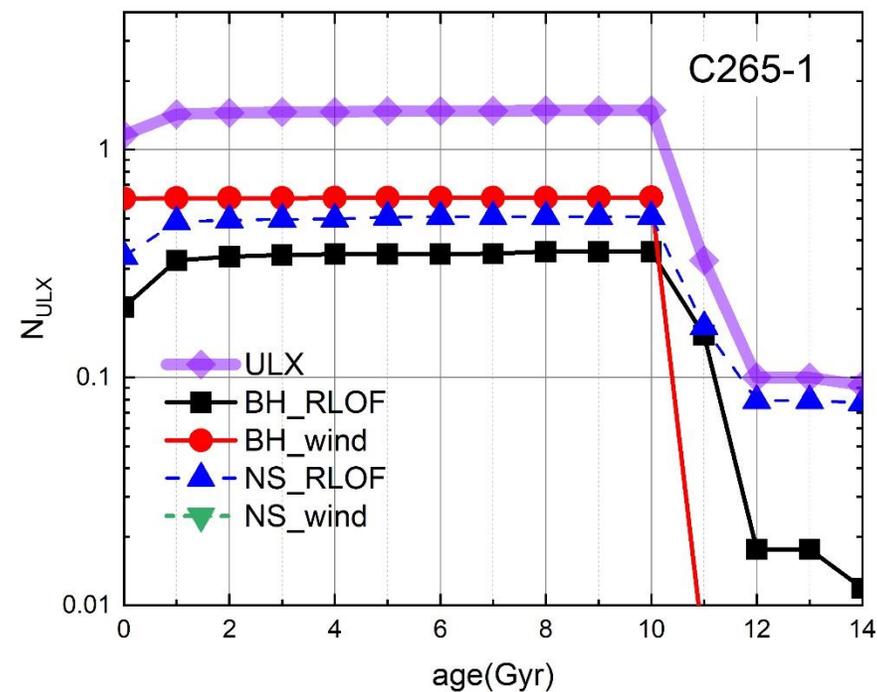


Эволюция численности ULX

вспышка звездообразования



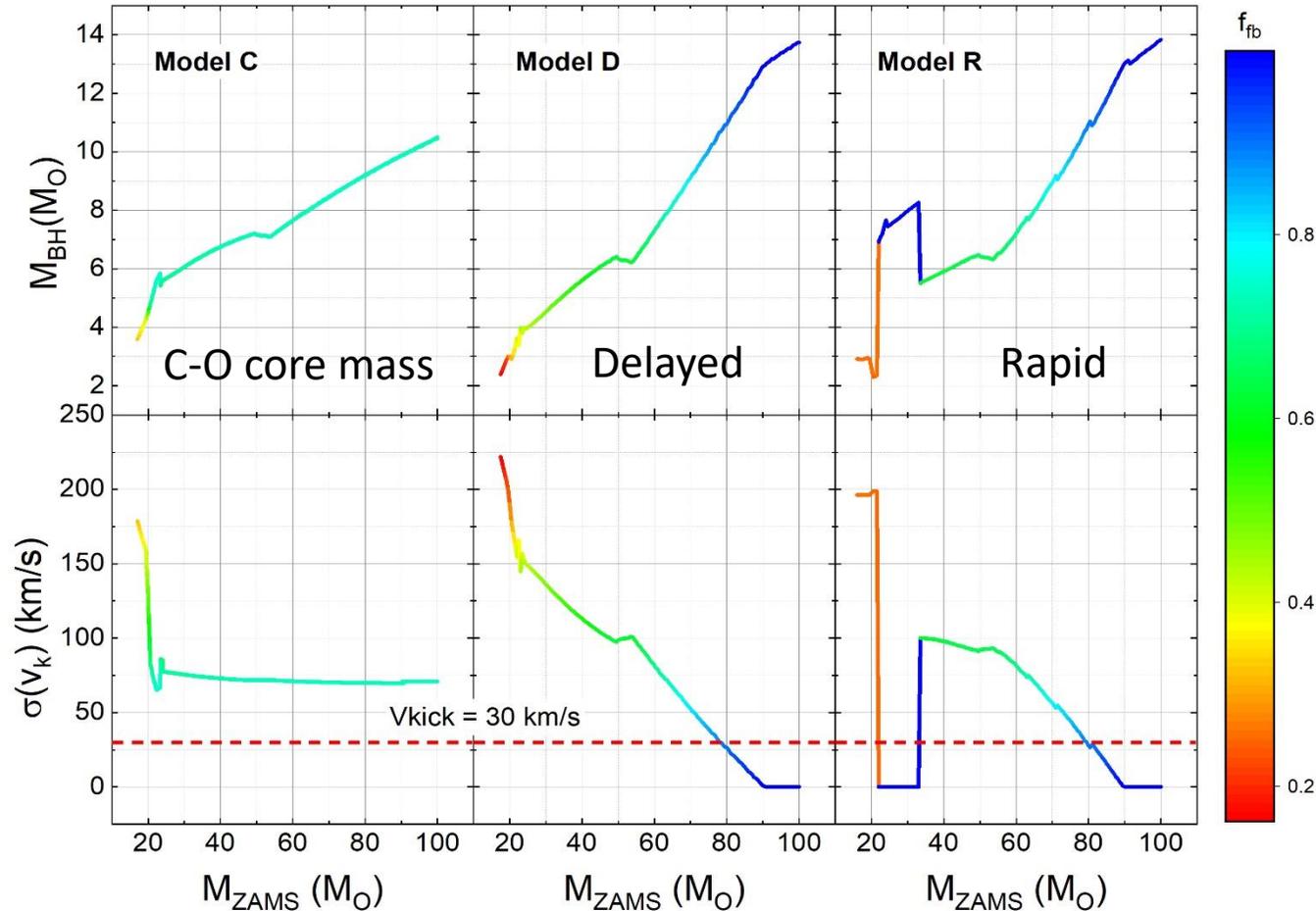
SFR = 1 M \odot /yr



Отношение числа **VHULX** к **NULX** в галактике со стационарным **3O**

	α		
	0,5	1	4
C265	1	1,9	0,04
D265	0,7	0,5	0,04
C30	2,5	2,6	0,04
D30	0,07	0,7	0,07

Формирование ЧД



- From C-O core mass:

$$M_{\text{bh}} = 0.9 M_{\text{co}}$$

- + additional fallback from stellar envelope:

$$M_{\text{bh}} = 0.9 (M_{\text{Fe}} + \Delta M)$$

$$v_k = (1 - f_b) v$$

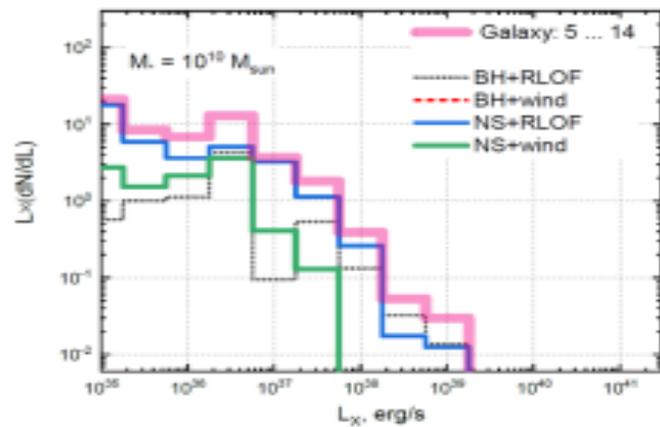
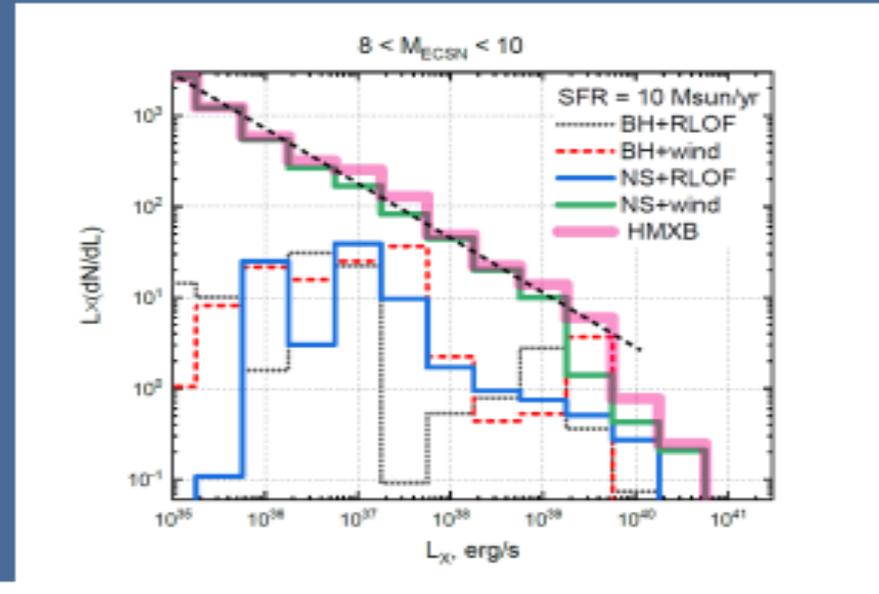
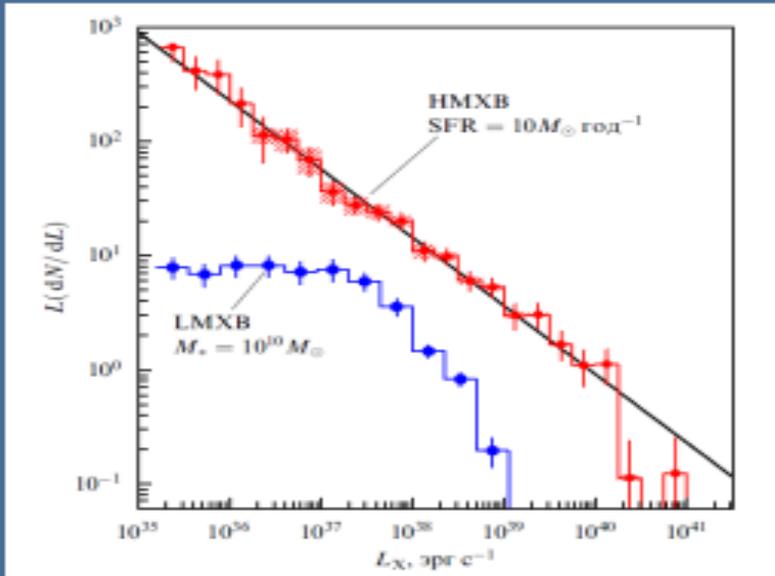
$$f_b = M_{\text{fb}} / (M_{\text{fin}} - M_{\text{pro}})$$

Численность ULX
в момент
времени 10 млрд.
лет после начала
30 в модельной
галактике с
 $SFR = 1 M_{\odot}/\text{год}$.

В круглых скобках
—численность
стационарных
(persistent)
источников.

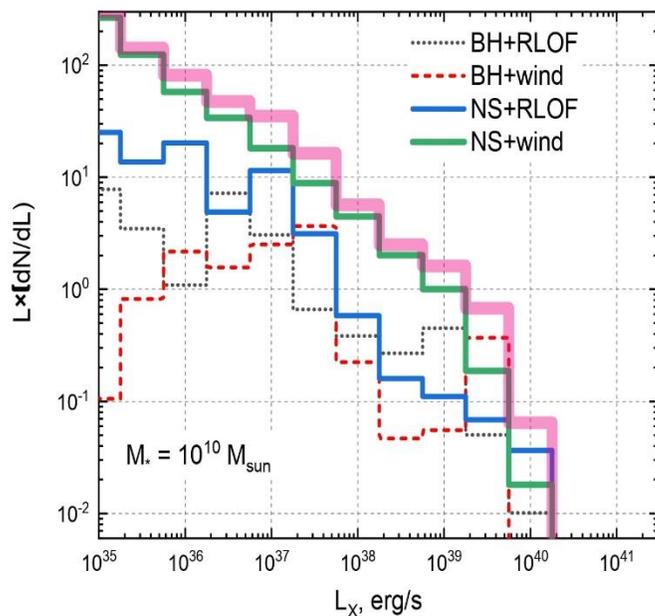
Модель	Механизм обр. к.о	$\sigma(v_k)$ (км/с)	α_{ce}	N ULX	N BH_RLOF	N BH_wind	N NS_RLOF	N NS_wind
C265-05	CO	265	0.5	0.88 (0.76)	0.40 (0.32)	0.03 ($<10^{-3}$)	0.44 (0.44)	0.007 (2×10^{-4})
C265-1		265	1.0	1.49 (0.76)	0.36 (0.25)	0.62 (0.005)	0.51 (0.50)	0.008 (2.4×10^{-4})
C265-4		265	4.0	3.38 (3.31)	0.02 (0.02)	0.10 (0.063)	3.15 (3.14)	0.101 (0.09)
C30-05		30	0.5	1.58 (1.22)	1.08 (0.78)	0.05 (0.004)		
C30-1		30	1.0	1.84 (0.96)	0.72 (0.44)	0.61 (0.017)		
C30-4		30	4.0	3.51 (3.43)	0.04 (0.03)	0.22 (0.172)		
D265-05	Delayed	265	0.5	0.75 (0.54)	0.11 (0.10)	0.19 (0.001)	0.44 (0.44)	0.007 (2×10^{-4})
D265-1		265	1.0	0.78 (0.56)	0.07 (0.05)	0.20 (0.001)	0.51 (0.50)	0.008 (2.4×10^{-4})
D265-4		265	4.0	3.41 (3.27)	0.04 (0.04)	0.11 (0.004)	3.15 (3.14)	0.101 (0.09)
D30-05		30	0.5	0.89 (0.54)	0.15 (0.10)	0.29 (0.00)		
D30-1		30	1.0	0.88 (0.54)	0.07 (0.03)	0.29 (0.005)		
D30-4		30	4.0	3.49 (3.29)	0.04 (0.02)	0.20 (0.042)		
R265-1	Rapid	265	1.0	0.81 (0.57)	0.07 (0.05)	0.23 (0.008)	0.51 (0.50)	0.008 (2.4×10^{-4})
R30-1		30	1.0	0.63 (0.53)	0.03 (0.02)	0.09 (0.003)		

Моделирование *функции рентгеновской светимости* (ФРС) аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр

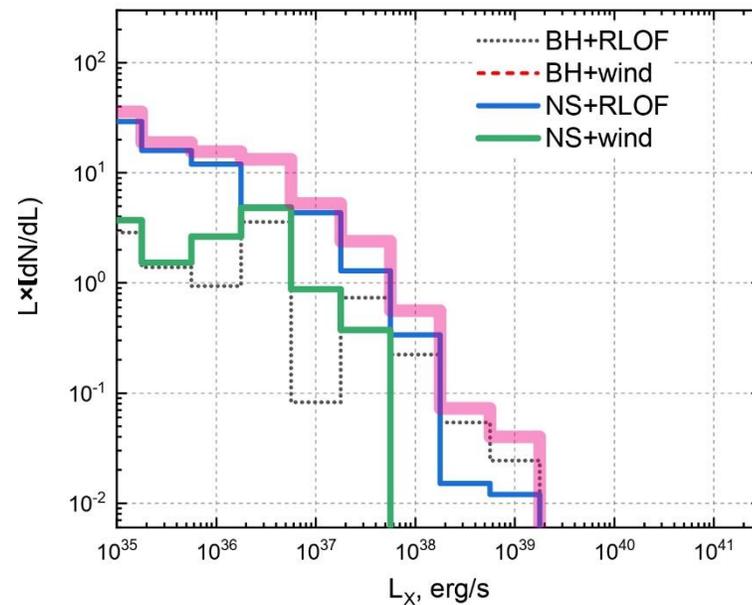


Моделирование *функции рентгеновской светимости* (ФРС) аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр

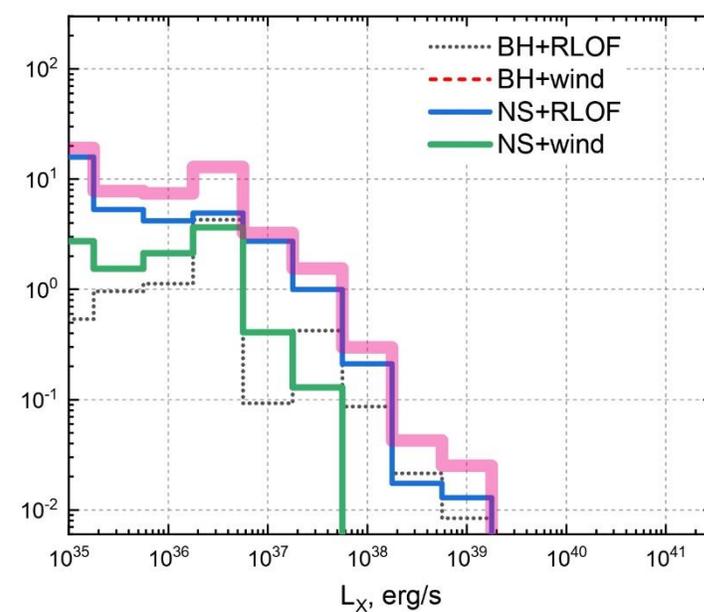
T=1Gyr



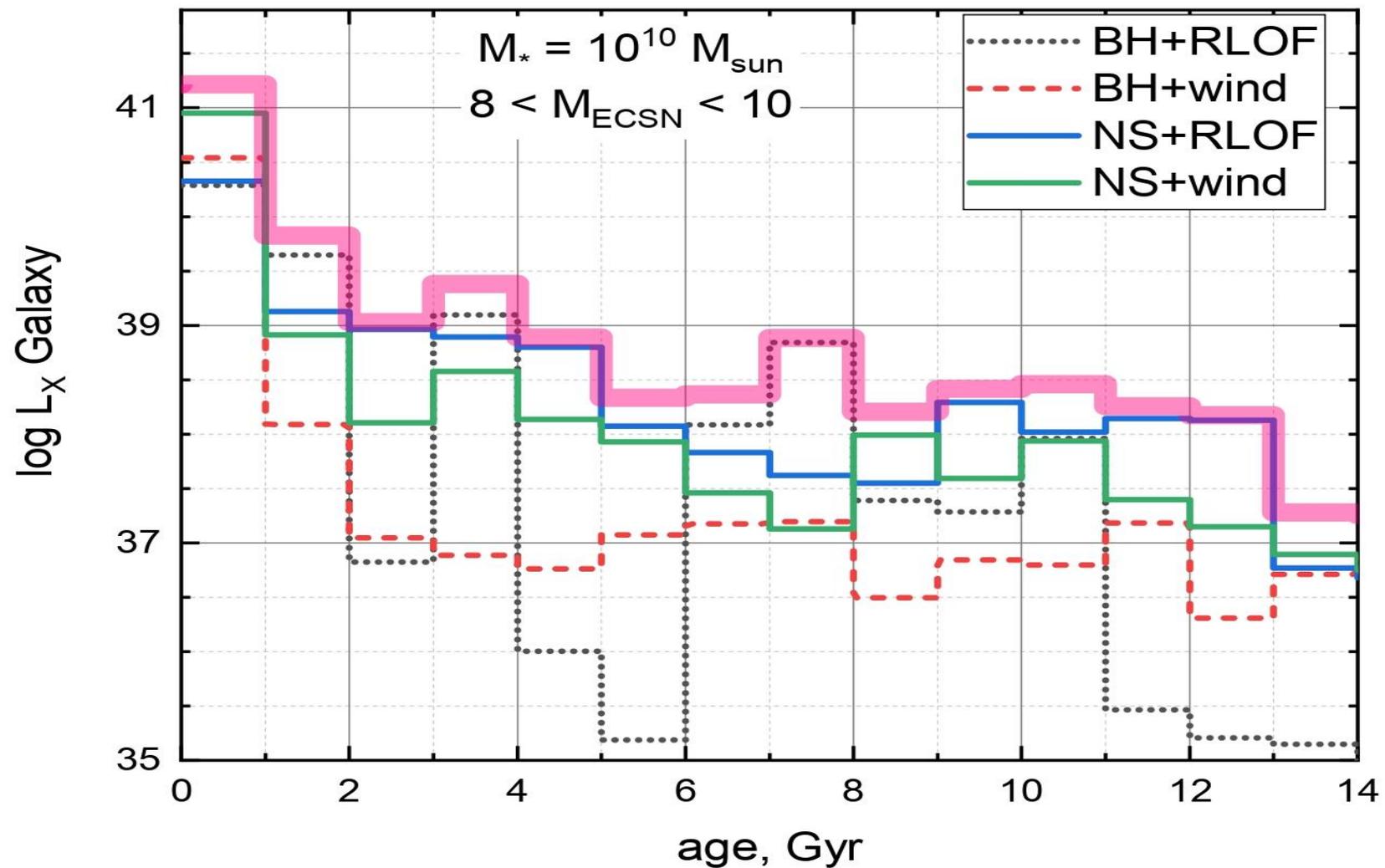
T = 3Gyr



T = 7 Gyr

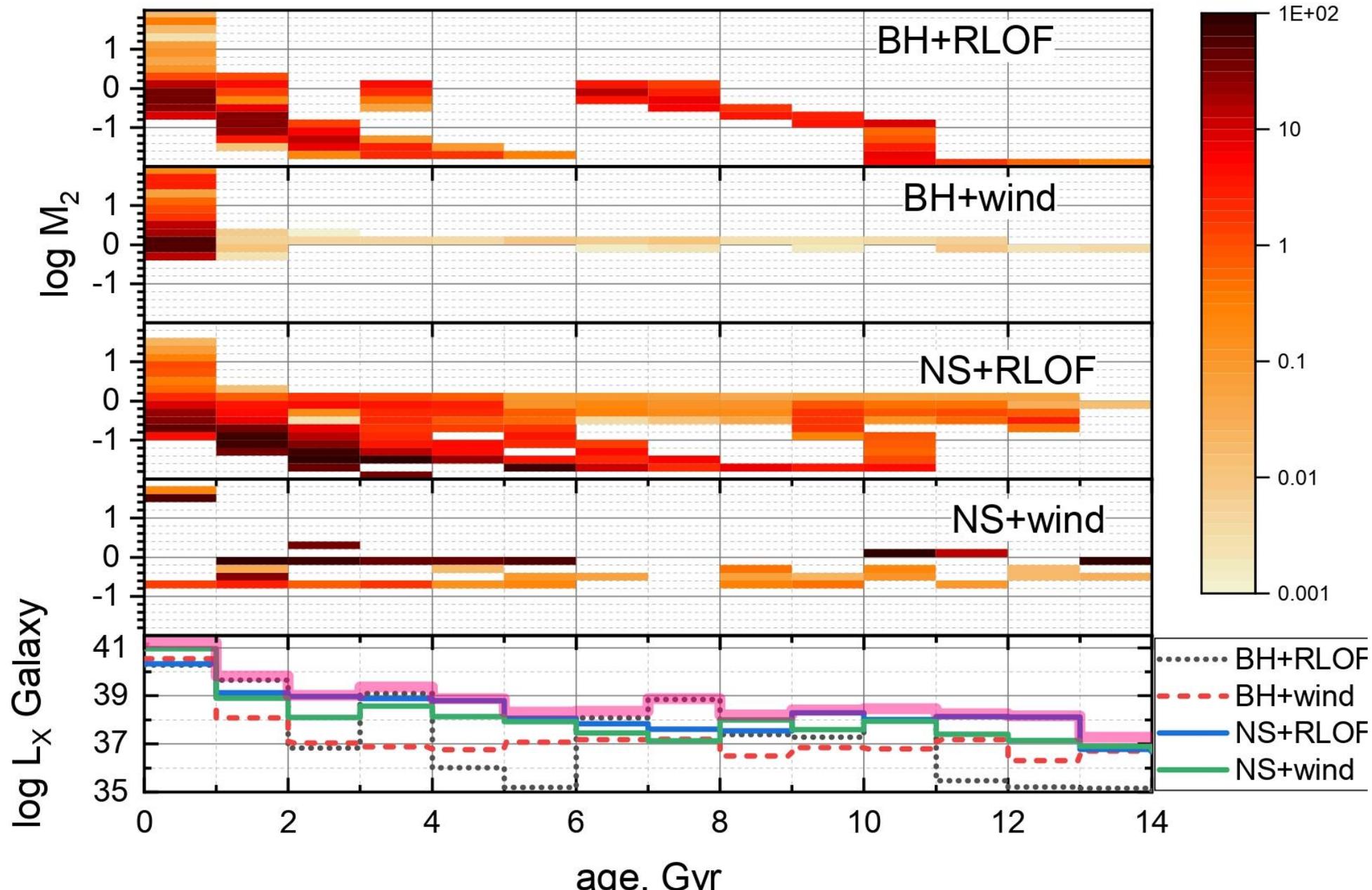


Рентгеновская светимость Галактики



$$M_* = 10^{10} M_{\text{sun}}$$

N per cell



Моделирование эволюции различных типов ТДС

- **2022 He-star donor AM CVn stars and their progenitors as LISA sources**
Liu W.M., Yungelson L., Kuranov A.
Astronomy and Astrophysics, том 668, с. A80
- **2020 Galactic population of black holes in detached binaries with low-mass stripped helium stars: the case of LB-1 (LS V+22 25)**
Yungelson L.R., Kuranov A.G., Postnov K.A., Kolesnikov D.A.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, том 496, № 1, с. L6-L10
- **2018 A young contracting white dwarf in the peculiar binary HD 49798/RX J0648.0-4418?**
Popov S.B., Mereghetti S., Blinnikov S.I., Kuranov A.G., Yungelson L.R.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, том 474, с. 2750-2756

A wide star–black-hole binary system from radial-velocity measurements

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1766-2>

Received: 1 March 2019

Accepted: 28 August 2019

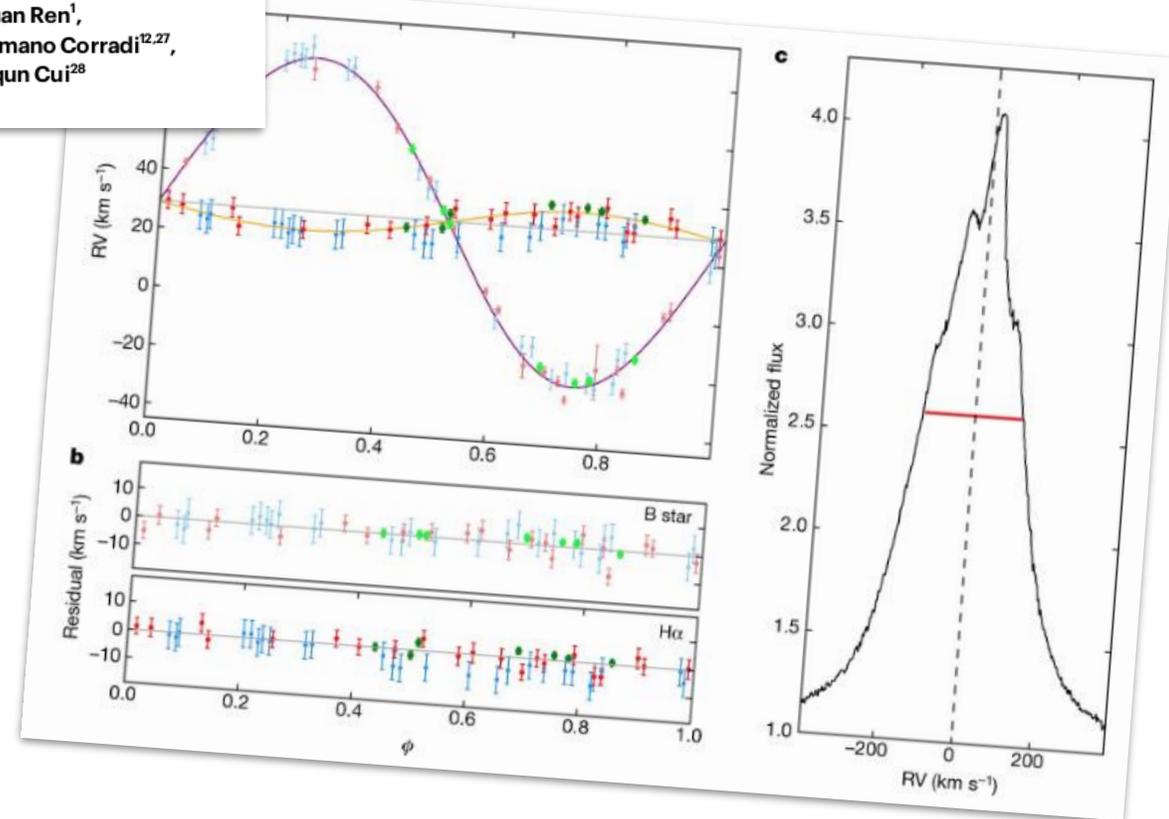
Published online: 27 November 2019

Jifeng Liu^{1,2,3*}, Haotong Zhang^{1*}, Andrew W. Howard⁴, Zhongrui Bai¹, Youjun Lu^{1,2}, Roberto Soria²⁵, Stephen Justham^{1,2,6}, Xiangdong Li^{7,8}, Zheng Zheng⁹, Tinggui Wang¹⁰, Krzysztof Belczynski¹¹, Jorge Casares^{12,13}, Wei Zhang¹, Hailong Yuan¹, Yiqiao Dong¹, Yajuan Lei¹, Howard Isaacson¹⁴, Song Wang¹, Yu Bai¹, Yong Shao^{7,8}, Qing Gao¹, Yilun Wang^{1,2}, Zexi Niu^{1,2}, Kaiming Cui^{1,2}, Chuanjie Zheng^{1,2}, Xiaoyong Mu², Lan Zhang¹, Wei Wang^{3,15}, Alexander Heger¹⁶, Zhaoxiang Qi^{1,17}, Shilong Liao¹⁷, Mario Lattanzi¹⁸, Wei-Min Gu¹⁹, Junfeng Wang¹⁹, Jianfeng Wu¹⁹, Lijing Shao²⁰, Rongfeng Shen²¹, Xiaofeng Wang²², Joel Bregman²³, Rosanne Di Stefano²⁴, Qingzhong Liu²⁵, Zhanwen Han²⁶, Tianmeng Zhang¹, Huijuan Wang¹, Juanjuan Ren¹, Junbo Zhang¹, Jujia Zhang²⁶, Xiaoli Wang²⁶, Antonio Cabrera-Lavers^{12,27}, Romano Corradi^{12,27}, Rafael Rebolo^{13,27}, Yongheng Zhao^{1,2}, Gang Zhao^{1,2}, Yaoquan Chu¹⁰ & Xiangqun Cui²⁸

$$P_{orb} = 78.9 \pm 0.3 \text{ d}$$

$$M_B = 8.2^{+0.9}_{-1.2} M_{\odot}$$

$$M_{BH} = 67^{+11}_{-13} M_{\odot}$$



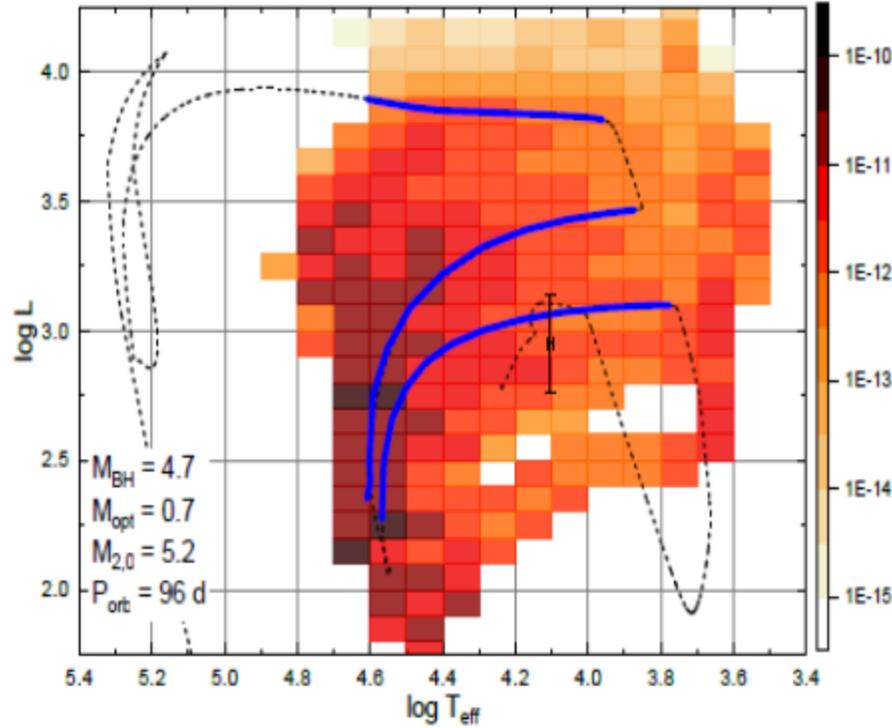


Figure 1. Model probability (per M_{\odot}) of finding LB-1 systems (colour scale) on HRD. Overplotted is an evolutionary track of the visual component crossing HRD close to position of LB-1 (error bars) suggested by Irrgang et al. (2020). Thick solid lines mark H- or He-shell burning phases.

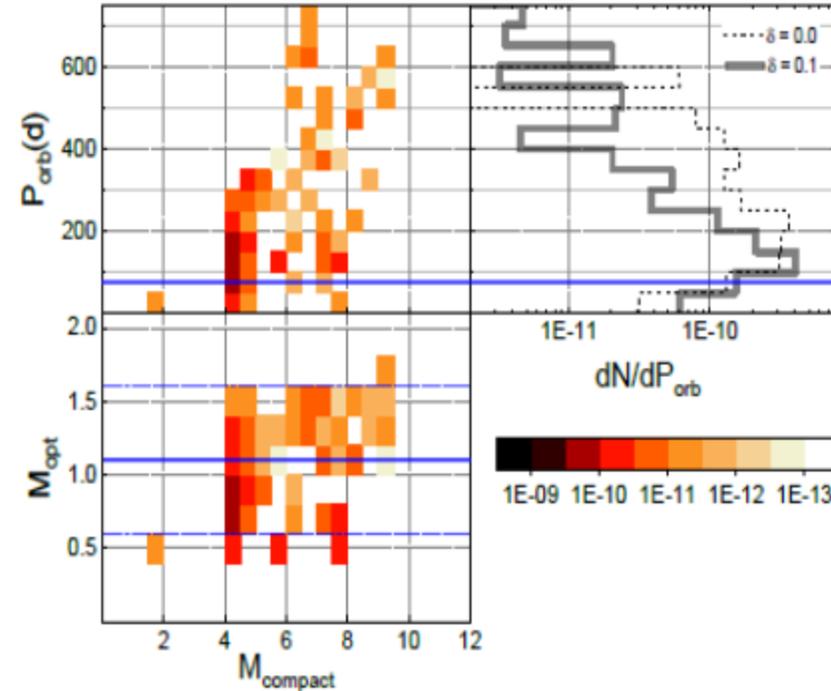
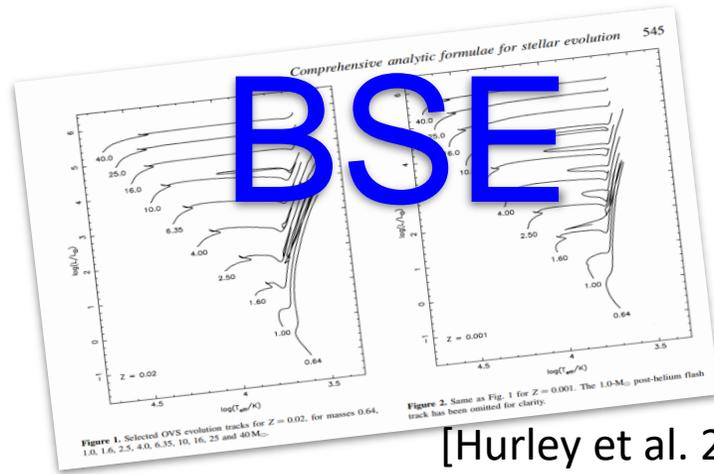


Figure 3. Distributions (per M_{\odot}) of combinations of component masses and orbital periods of LB-1 type systems. Dashed line shows distribution over periods if no mass is lost via L_2 . Blue lines show the range of estimates of M_{opt} and P_{orb} .

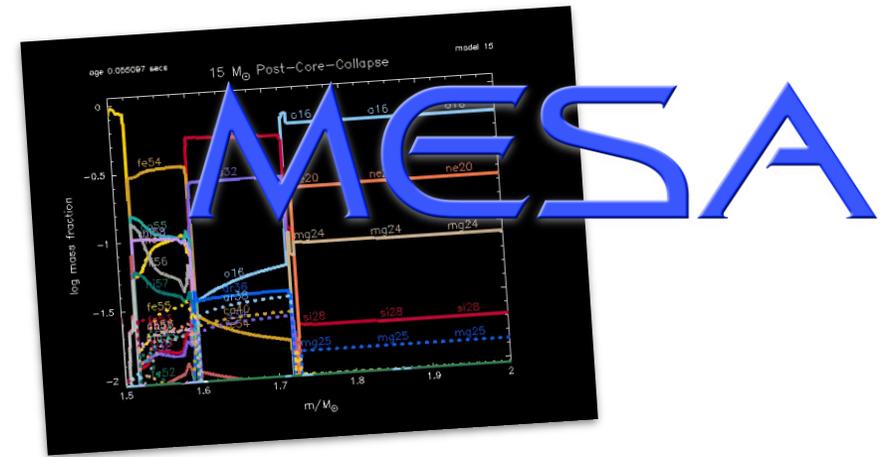
Основные результаты за последние 5 лет (2018-2022 гг.):

1. Методом популяционного синтеза исследуются эволюции двойных систем различных масс и разного начального химсостава, с детальным учетом вращательной эволюции замагниченных нейтронных звезд в различных режимах.
2. Расчет источников с максимальной светимостью (в т.ч. сверхэддингтоновской). Результаты позволяют количественно объяснить наблюдаемые свойства NULX (рентгеновские светимости, периоды вращения НЗ, орбитальные периоды ТДС и массы оптических компонентов), не требуя дополнительных модельных предположений о коллимации рентгеновского излучения от НЗ с высокой с наблюдаемой сверхэддингтоновской светимостью.
3. Произведено моделирование функции рентгеновской светимости (ФРС) аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр в диапазоне $10^{35} \leq LX \leq 10^{41}$ эрг с⁻¹ в звездообразующих галактиках и галактиках с начальной вспышкой звездообразования. ФРС в галактиках обоих типов в общих чертах воспроизводится с использованием стандартной модели эволюции двойных звезд.
4. На основании серии расчетов методом популяционного синтеза построены распределения удельного объемного темпа слияния систем двойных компактных звезд (НЗ+ЧД и ЧД+ЧД) и ожидаемого числа детектирования таких систем в текущих наблюдениях LIGO/Virgo O3. Расчеты проводились с учетом эволюции металличности звезд (в том числе и для звезд с нулевой металличностью - Население III) и темпа звездообразования во Вселенной.
5. В результате выполнения исследований разработан гибридный популяционный метод: популяционный синтез (использование модифицированных кодов BSE и Машина Сценариев) совместно с программами детальной звездной эволюции (код MESA).

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА



[Hurley et al. 2000, 2002]



[B. Paxton et al. 2011]



POSYDON : POpulation SYNthesis with Detailed binary-evolution simulatiONs

A next-generation single and binary-star population synthesis code incorporating full stellar structure and evolution modeling with the use of [MESA](#).

[T. Fragos, V. Kalogera et al. 2021]

<https://arxiv.org/abs/2212.03032>

📌 В вашей очереди добавления находится 1 публикация. [Добавить следующую публикацию](#) [очистить очередь](#) [скрыть все](#) [скрыть](#)

отправить
сообщение

Куранов Александр Геннадиевич пользователь

баллов: 2117,12

МГУ имени М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга, [Отдел релятивистской астрофизики](#), научный сотрудник, с 1 апреля 2001

кандидат физико-математических наук [Перейти на страницу подразделения](#)

Соавторы: Постнов К.А., Прохоров М.Е., Yungelson L.R., Попов С.Б., Ignatiev V.B., Симкин И.В., Гусев А.В., Колесников Д.А., Митичкин Н.А., Gil'fanov M., Liu W.M., Mereghetti S., Perna R. [показать полностью...](#)

44 статьи, 17 докладов на конференциях, 11 НИР, 1 диссертация

Количество цитирований статей в журналах по данным Web of Science: 277, Scopus: 226 [откуда взялись эти числа?](#)

IstinaResearcherID (IRID): 415452

Работа с системой

- [Мои результаты](#)
- [Редактировать профиль](#)
- [Мои отчеты](#)
- [Конкурсы](#)
- [Достижения](#)
- [Последние добавленные мной результаты](#)
- [Экспорт публикаций в BibTeX](#)
- [Мои возможные дубликаты](#)
- [Мои потерянные статьи](#)
- [Инструкция по работе с системой](#)

Последние добавленные работы [Все работы](#) [помощь по этой странице](#)

Статьи в журналах

★ [2022 He-star donor AM CVn stars and their progenitors as LISA sources](#)

Liu W.M., Yungelson L., Kuranov A.

в журнале *Astronomy and Astrophysics*, издательство *Springer Verlag (Germany)*, том 668, с. A80 DOI

Статьи в сборниках

[2022 X-ray luminosity function of accreting neutron stars and black holes](#)

Postnov K., Kuranov A., Yungelson L., Gil'fanov M.

Спасибо за внимание !