

ГЛУБОКИЙ ЖЕСТКИЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ОБЗОР ПОЛЯ М81 ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ ИНТЕГРАЛ

© 2024 г. Р.А. Кривонос¹*, И.А. Мереминский¹, С.Ю. Сазонов¹

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 07.12.2023 г.

После доработки 07.12.2023 г.; принята к публикации 26.12.2023 г.

Проведен глубокий обзор области поля М81 в диапазоне энергий 25–60 кэВ по данным многолетних (2003–2023) наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ. Благодаря большой накопленной экспозиции (19.2 Мс) в центральной части поля достигнута рекордная чувствительность 0.16 мКраб на уровне значимости детектирования 4σ . Полная площадь обзора составила 1004 кв. градусов на уровне чувствительности лучше 0.72 мКраб. Составлен каталог источников, обнаруженных на уровне значимости выше 4σ . Он содержит 51 объект, большинство из которых являются активными ядрами галактик (АЯГ). Медианное красное смещение сейфертовских галактик в каталоге составляет $z = 0.0366$. Шесть источников ранее не регистрировались ни в каких рентгеновских обзорах. По имеющимся косвенным данным все они, а также еще два источника, которые ранее уже попадали в каталоги обзоров обсерватории ИНТЕГРАЛ, тоже могут быть АЯГ, в том числе с сильным внутренним поглощением.

Ключевые слова: обзоры неба, рентгеновские источники, активные ядра галактик.

DOI: 10.31857/S0320010824010026, EDN: ORAPZF

ВВЕДЕНИЕ

Международная астрофизическая лаборатория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ (Винклер и др., 2003) — это проект Европейского космического агентства совместно с Роскосмосом и НАСА. Обсерватория была запущена 17 октября 2002 г. с космодрома Байконур ракетой ПРОТОН. Сочетание высокой чувствительности в диапазоне энергий ~20–100 кэВ, большого поля зрения ($28^\circ \times 28^\circ$) и относительно хорошего углового разрешения ($12'$) телескопа с кодирующей маской IBIS (Убертини и др., 2003) дает большие возможности для исследования неба в жестких рентгеновских лучах. За более чем 20 лет работы на орбите обсерватория ИНТЕГРАЛ провела множество наблюдений в самых разных частях неба (Кривонос и др., 2021).

Рентгеновские обзоры, проведенные телескопами обсерватории ИНТЕГРАЛ, служат основой для систематического исследования разных классов объектов: катаклизмических переменных и симбиотических звезд (Лутовинов и др., 2020), маломассивных и массивных рентгеновских двойных систем (Сазонов и др., 2020; Кречмар и др., 2019), активных ядер галактик (АЯГ, Малиция и др. 2020b).

В данной работе представлены результаты глубокого обзора области неба вокруг близкой группы галактик М81 (Караченцев и др., 2002),

составленного по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ, накопленным в разных наблюдениях этого поля за все время ее работы на орбите. Центральная галактика группы — М81 — расположена на расстоянии 3.7 Мпк (Караченцев, Кайсина и Марков, 2018).

ПОЛЕ М81

Для обсерватории ИНТЕГРАЛ внегалактическое поле М81 является уникальным по накопленной экспозиции и достигнутой чувствительности. Изначально это поле наблюдалось в ходе программ, посвященных исследованию спектров ультраярких рентгеновских источников в близких галактиках (М82 X-1, Hol IX X-1, Сазонов, Лутовинов и Кривонос, 2014) и поиску линий радиоактивного распада ^{56}Co после вспышки сверхновой SN2014J типа Ia в галактике М82 (Чуразов и др., 2014). На основе этих данных был составлен глубокий обзор поля М81 (Мереминский и др., 2016). Затем, добавив данные более поздних наблюдений, (Мереминский и др., 2023) получили верхние пределы на болометрическую светимость ($L_{\text{bol}} \lesssim 10^{41}$ эрг с⁻¹) ядер 72 близких карликовых галактик, расположенных в поле М81.

Начиная с 2019 г. по заявкам нашей группы проводятся регулярные наблюдения поля М81 обсерваторией ИНТЕГРАЛ. Основной задачей этого глубокого обзора является поиск сильно поглощенных АЯГ по совокупности данных наблюдений

* Электронный адрес: krivonos@cosmos.ru

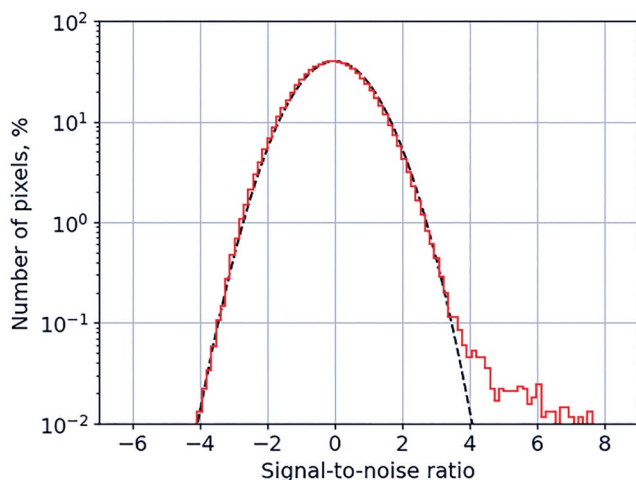


Рис. 1. Распределение значений элементов изображения поля М81 (рис. 2) в единицах отношения сигнал/шум (красная гистограмма). Пунктирной линией показано нормальное распределение со среднеквадратичным отклонением, равным единице.

обсерватории ИНТЕГРАЛ в жестких рентгеновских лучах и обзора всего неба, который, начиная с декабря 2019 года, проводит обсерватория СРГ (Сюняев и др., 2021) в более мягком рентгеновском диапазоне. Благодаря столь длительным наблюдениям в рамках этой и предыдущих программ (полное время экспозиции, поправленное на мертвое время, составило 19.2 мс) к настоящему времени в поле М81 с помощью прибора IBIS/ISGRI (Лебран и др., 2003) удалось достичь предельной чувствительности лучше 0.2 мКраб². Это самый глубокий обзор на внегалактическом небе обсерватории ИНТЕГРАЛ.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Для построения карты неба были использованы все доступные данные, полученные с марта 2003 по август 2023 г. прибором IBIS/ISGRI в радиусе 18° от галактики М81. Использовался набор программного обеспечения, разработанный в ИКИ РАН (Кривонос и др., 2010; Чуразов и др., 2014).

В связи с постепенной деградацией детекторов телескопа IBIS со временем и связанным с этим повышением нижней границы эффективного диапазона чувствительности с 17 до 25 кэВ для построения обзора был выбран энергетический диапазон 25–60 кэВ. Это позволяет практически исключить влияние систематического приборного

шума, но сопровождается некоторой потерей чувствительности (подробнее см. Кривонос и др., 2022).

Далее, для составления каталога источников мы дополнительно ограничили область обзора контуром, внутри которого достигается чувствительность лучше 0.72 мКраб (6.8×10^{-12} эрг см⁻² с⁻¹) в диапазоне 25–60 кэВ на уровне значимости 4σ. Центральная часть поля определяется координатами RA, Dec = 146.3, 69.9 (FK5, эпоха J2000), где достигается предельная чувствительность 0.16 мКраб (1.5×10^{-12} эрг см⁻² с⁻¹). Для порога детектирования на уровне значимости 4σ ожидаемое количество ложных источников составляет значительно менее одного объекта на все поле. Геометрическая площадь обзора составляет 1004 кв. градусов, что примерно соответствует кругу с радиусом 18°.

Как было сказано выше, благодаря повышению нижней границы энергетического диапазона чувствительность обзора не подвержена систематическому шуму и определяется фотонной статистикой. Для доказательства этого утверждения было построено распределение всех элементов изображения в единицах отношения сигнал–шум, которое показано на рис. 1. Свойства распределения хорошо описываются гауссовой статистикой, за исключением крыла в положительной области, где наблюдается вклад от рентгеновских источников.

На рис. 2 показано рентгеновское изображение поля М81 в диапазоне 25–60 кэВ, накопленное за полное время экспозиции 19.2 Мс. На рис. 3 показано изображение центральной части обзора в увеличенном масштабе.

КАТАЛОГ ИСТОЧНИКОВ

Детектирование источников проводилось с помощью процедур, описанных в статье Кривонос и др. (2022). В табл. 1 представлен список из 51 объекта, зарегистрированных на уровне значимости выше 4σ. Точность позиционирования источников, обнаруженных телескопом с кодирующей апертурой IBIS, зависит от значимости их детектирования (Грос и др., 2003). Согласно оценкам, сделанным в работе Кривонос и др. (2007), доверительный интервал на уровне 68% для значимости детектирования 5–6, 10 и >20σ, составляет 2.1', 1.5' и <0.8' соответственно.

В нашей предыдущей работе (Мереминский и др., 2016) в области поля М81 по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ было зарегистрировано 37 источников на уровне значимости выше 4.5σ. Таким образом, за счет практически удвоенной экспозиции (19.2 против 9.7 Мс) и слегка пониженного порога детектирования (4σ) нам удалось обнаружить значительно больше объектов

² Поток в 1 мКраб в диапазоне 25–60 кэВ соответствует 9.73×10^{-12} эрг см⁻² с⁻¹, в предположении спектральной модели Крабовидной Туманности $10 \text{ (E/1 кэВ)}^{-2.1}$ фот. см⁻² с⁻¹ кэВ⁻¹.

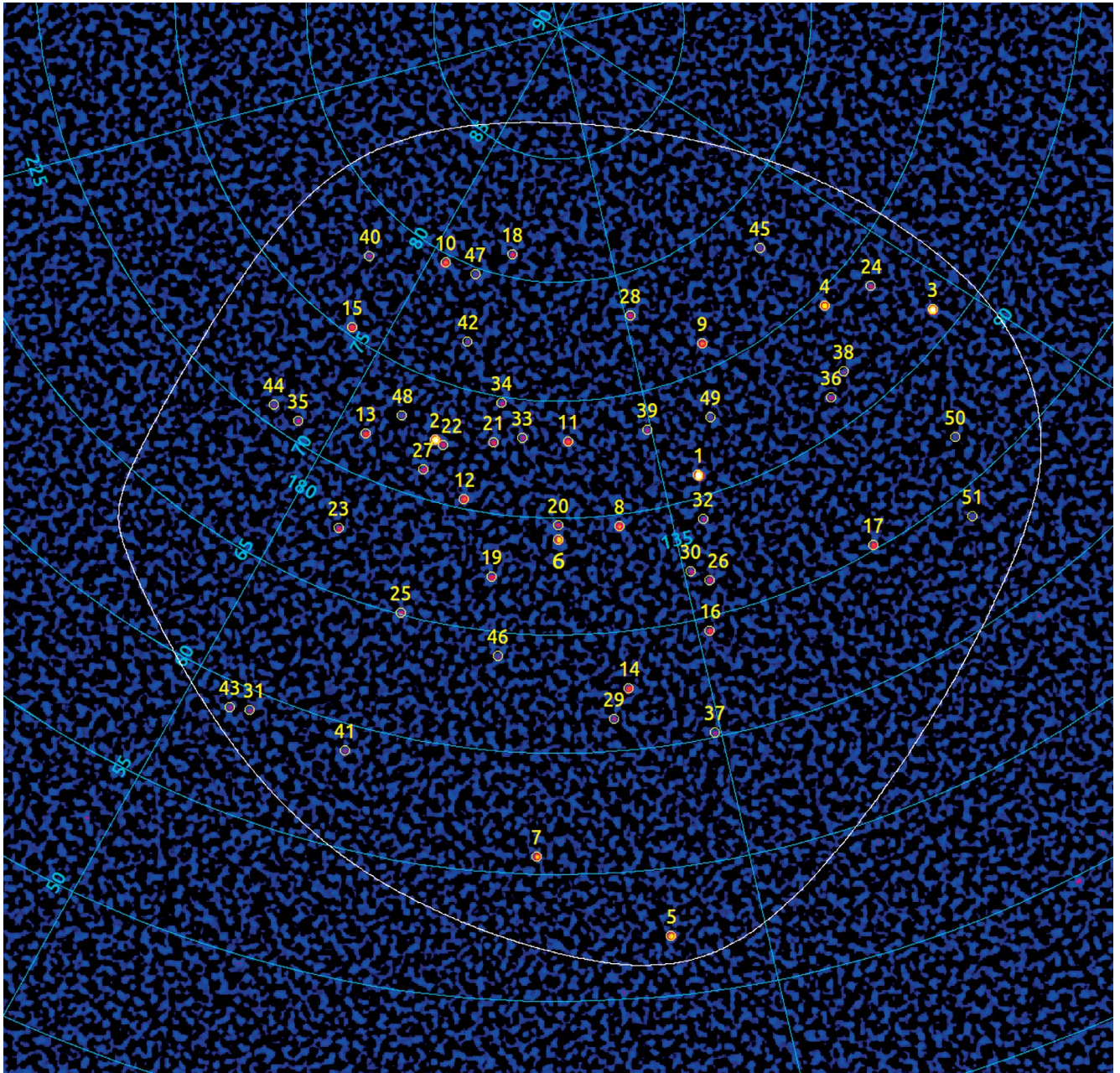


Рис. 2. Карта области неба около галактики M81 (источник под номером 6) в диапазоне энергий 25–60 кэВ по данным телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ, накопленным за время экспозиции 19.2 Мс (с учетом мертвого времени). Номера источников, отсортированные по значимости детектирования, соответствуют номерам в табл. 1. Белый контур ограничивает область обзора, в которой чувствительность превышает 0.72 мКраб. В этой области проводилось детектирование источников. Полный размер изображения составляет $48^\circ \times 48^\circ$. Координатная сетка отображает экваториальную систему координат, в верхней части изображения виден северный полюс.

в том же поле. Три источника, IGR J11030+7027, IGR J07563+5919 и IGR J10380+8435, из каталога Мериминский и др. (2016) не были обнаружены в текущем обзоре. Это может быть связано с их переменностью. Однако нельзя исключить и возможность ложного детектирования каких-то из них. С другой стороны, по сравнению с работой

Мериминский и др. (2016) в текущем обзоре добавилось 15 новых источников.

Мы провели отождествление и классификацию источников из нового каталога поля M81, используя общедоступные астрономические базы данных, такие как SIMBAD Astronomical Database (Венгер и др., 2000) и NASA/IPAC Extragalactic

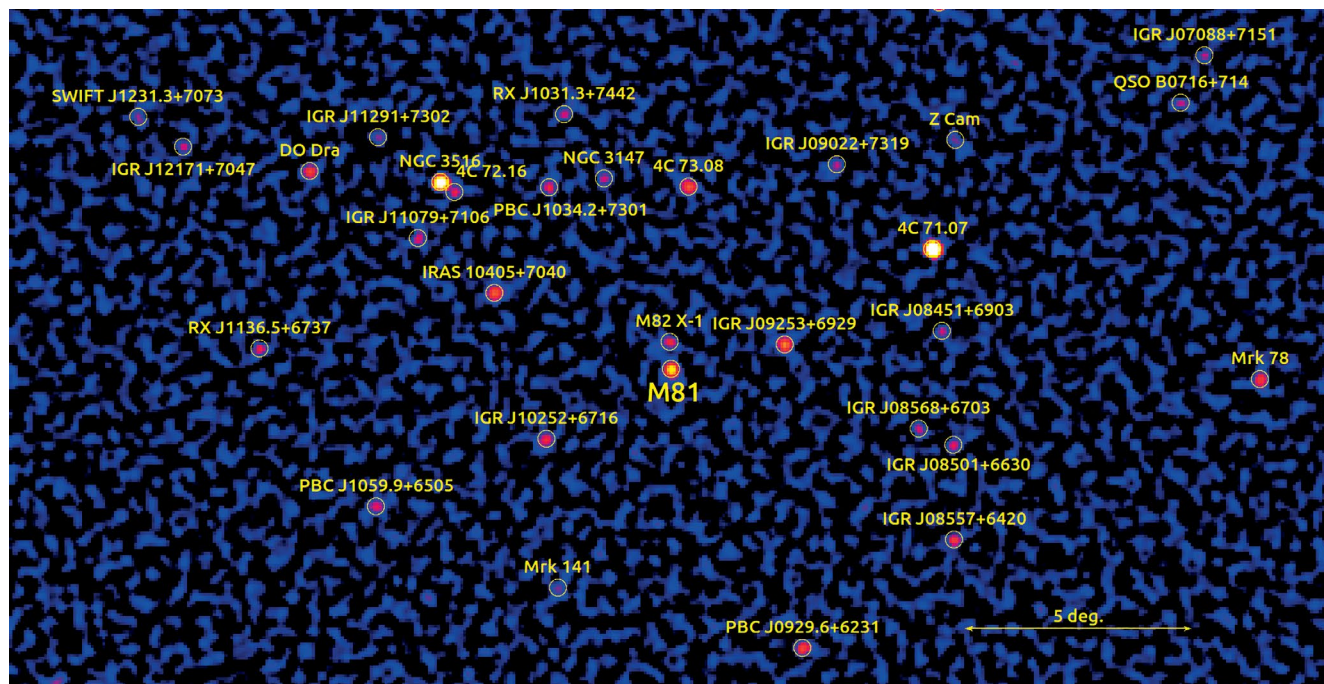


Рис. 3. Центральная часть рентгеновского изображения поля M81 в увеличенном масштабе, с названиями источников.

Database³ (NED), и астрофизическую литературу. Для близких внегалактических объектов использовались оценки расстояний из Extragalactic Distance Database (Талли и др., 2023). Полученная выборка в основном состоит из АЯГ. Это 32 сейфертовские галактики, 1 галактика типа LINER (т.е. в ядре наблюдается слабая активность) — M81, 6 блазаров и 8 кандидатов в АЯГ, которые будут подробно обсуждаться ниже. Кроме того, в каталоге присутствует один ультраяркий рентгеновский источник (M82 X-1) и три катаклизмических переменных в нашей Галактике.

На рис. 4 показана диаграмма расстояние — светимость (в диапазоне 25–60 кэВ) для внегалактических источников в обзоре поля M81 обсерватории ИНТЕГРАЛ. На рис. 5 показано распределение красных смещений АЯГ и кандидатов в АЯГ. При построении этих графиков был исключен источник IGR J11058+5852, который, по-видимому, состоит из двух неразрешенных источников SWIFT J1105.7+5854A и SWIFT J1105.7+5854B — известных сейфертовских галактик, расположенных на разных красных смещениях (см. ниже).

Медианное значение красного смещения подтвержденных сейфертовских галактик и кандидатов в АЯГ в новом каталоге составляет

$z_{\text{med}} = 0.0366$. Благодаря сколлимированному в нашу сторону излучению блазары, несмотря на свою редкость во Вселенной, могут регистрироваться с гораздо больших расстояний и имеют гораздо большие наблюдаемые светимости. Для сравнения, в каталоге 70 месячного жесткого рентгеновского обзора всего неба Свифт/ВАТ (Ричи и др., 2017) медианное значение красного смещения 731 АЯГ, за исключением блазаров, составляет $z_{\text{med}} = 0.0367$, а в каталоге 17-летнего обзора всего неба обсерватории ИНТЕГРАЛ (Кривонос и др., 2022) $z_{\text{med}} = 0.029$ на основе выборки 331 АЯГ за исключением блазаров. Все упомянутые обзоры, включая глубокий обзор поля M81 обсерватории ИНТЕГРАЛ, эффективно просматривают лишь относительно близкую Вселенную (на расстояниях меньше нескольких сотен Мпк), поэтому получающаяся статистика АЯГ определяется сочетанием карты экспозиции и крупномасштабной структуры Вселенной в области конкретного обзора.

ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ДРУГИМИ КАТАЛОГАМИ

Большинство объектов в новом каталоге обзора поля M81 обсерватории ИНТЕГРАЛ уже были известны ранее как рентгеновские источники. Мы сопоставили каталог с каталогами ряда рентгеновских обзоров всего неба, отыскивая партнеров в радиусе ошибок вокруг источников из нашего каталога.

³ Финансируется НАСА, поддерживается Калифорнийским технологическим институтом.

Таблица 1. Каталог рентгеновских источников, зарегистрированных в поле M81 по данным телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ в диапазоне 25–60 кэВ. Источники перечислены в порядке убывания значимости детектирования (S/N)

№	Название	RA (J2000)	Dec (J2000)	Поток мКраб	S/N	z	Тип	Обзоры ^{a)}	Заметки, ссылки
1	4C 71.07	130.3376	70.9024	2.95 ± 0.05	63.7	2.1720	Blazar	1–4	D = 3.61 Мпк D = 20.61 Мпк
2	NGC 3516	166.7135	72.5649	2.13 ± 0.05	44.3	0.0088	Sy1.5	1–4	
3	Mrk 3	93.8886	71.0396	6.07 ± 0.15	39.3	0.0135	Sy2	1–4	
4	Mrk 6	103.0381	74.4317	2.35 ± 0.10	23.3	0.0195	Sy2	1–4	
5	Mrk 110	141.3090	52.2853	3.51 ± 0.16	22.2	0.0350	Sy1	1–4	
6	M81	148.8602	69.0720	0.79 ± 0.04	19.9		LINER	1–4	
7	NGC 3079	150.4961	55.6897	1.82 ± 0.10	17.4	0.0037	Sy2	1–3	
8	IGR J09253+6929	141.4370	69.4772	0.55 ± 0.04	13.7	0.0398	Sy1.5	1–4	
9	PG 0804+761	122.8281	76.0597	0.78 ± 0.06	12.9	0.1000	Sy1	1–4	
10	1ES1141+79.9	176.3406	79.6691	1.02 ± 0.08	12.4	0.0065	Sy1.2	1–4	
11	4C 73.08	147.4671	73.2467	0.49 ± 0.04	11.8	0.0580	Sy2 (NLRG)	1–3	D = 3.53 Мпк
12	IRAS10405+7040	161.0241	70.4123	0.51 ± 0.04	11.7	0.0336		1–3	
13	DO Dra	175.9362	71.7171	0.63 ± 0.06	10.6		CV	1–4	
14	PBC J0929.6+6231	142.3670	62.5556	0.54 ± 0.05	10.5	0.0256	Sy2	1–3	
15	Mrk 205	185.4558	75.3079	0.84 ± 0.08	10.1	0.0709	Sy1	1–4	
16	IGR J08557+6420	133.8026	64.3936	0.51 ± 0.05	9.9	0.0362	Sy2	1–3	
17	Mrk 78	115.7189	65.1813	0.80 ± 0.09	9.2	0.0379	Sy2	3	
18	6C 103912+811006	161.2189	80.9152	0.64 ± 0.08	8.2	1.2600	Blazar	1–3	
19	IGR J10252+6716	156.3028	67.2989	0.32 ± 0.04	7.7	0.0386	Sy2	1–3	
20	M82 X-1	148.9556	69.6963	0.30 ± 0.04	7.6		ULX	1–4	MCG+11-11-029
21	PBC J1034.2+7301	158.4465	73.0057	0.32 ± 0.04	7.3	0.0220	Sy2	1–3	
22	4C 72.16	165.4542	72.4318	0.34 ± 0.05	7.3	1.4600	Blazar	1,2	
23	RX J1136.5+6737	174.1284	67.5920	0.43 ± 0.06	7.2	0.1342	Blazar	1–4	
24	MU Cam	96.4044	73.5744	0.93 ± 0.13	7.2		CV	1–4	
25	PBC J1059.9+6505	165.0025	65.0632	0.35 ± 0.05	6.7	0.0836	Sy2	3,4	
26	IGR J08501+6630	132.5434	66.4836	0.32 ± 0.05	6.6	0.0370	AGN?	1,2	
27	IGR J11079+7106	167.0707	71.1865	0.32 ± 0.05	6.6	0.0600	AGN	1–3	
28	NGC 2655	133.8822	78.2078	0.39 ± 0.06	6.6	0.0050	Sy2	1–3	
29	IRAS 09320+6134	143.9668	61.3389	0.35 ± 0.06	6.2	0.0394	Sy1	1–3	
30	IGR J08568+6703	134.2313	67.0334	0.28 ± 0.05	6.1		AGN?		PBC J0857.3+6704
31	SBS 1136+594	174.7757	59.1829	0.79 ± 0.13	5.9	0.0612	Sy1	3,4	LEDA 24565
32	IGR J08451+6903	131.3212	69.0492	0.27 ± 0.05	5.9	0.0405	AGN?		
33	NGC 3147	154.2565	73.3686	0.25 ± 0.04	5.8	0.0099	Sy2	3	[?]
34	RX J1031.3+7442	158.1377	74.7052	0.27 ± 0.05	5.8	0.1230	Blazar	3,4	
35	IGR J12171+7047	184.3606	70.7967	0.46 ± 0.08	5.7	0.0067	AGN	1,2	В скоплении Abell 565? MCG+12-09-029
36	QSO B0716+714	110.4952	71.3127	0.44 ± 0.08	5.5	0.3100	Blazar	1,2	
37	Mrk 18	135.4907	60.1509	0.39 ± 0.07	5.5	0.0111	Sy2	3	
38	IGR J07088+7151	107.1802	71.8305	0.48 ± 0.09	5.5	0.1054	AGN?		
39	IGR J09022+7319	135.5513	73.3271	0.24 ± 0.04	5.4	0.0371	AGN?		

Таблица 1. Окончание

№	Название	RA (J2000)	Dec (J2000)	Поток мКраб	S/N	z	Тип	Обзоры ^{a)}	Заметки
40	IGR J12418+7805	190.5876	78.1117	0.56 ± 0.10	5.3	0.0221	Sy1.9	1,2	1) SWIFT J1105.7+5854B 2) SWIFT J1105.7+5854A
41	IGR J11058+5852	166.4717	58.8819	0.50 ± 0.10	5.2	0.1910	Sy1	1–3	
						0.0476	Sy2		
42	PG 1100+772	166.1402	76.9426	0.28 ± 0.06	4.9	0.3115	Sy1	3,4	NVSS J065745+780059
43	SWIFT J1145.2+5905	176.3217	58.9800	0.74 ± 0.15	4.9	0.0079	Sy2	3	
44	SWIFT J1231.3+7073	187.9397	70.7567	0.45 ± 0.09	4.8	0.2080	Sy1.2	1–3	
45	IGR J06571+7802	104.3319	77.9851	0.48 ± 0.10	4.6		AGN?	1,2	UGC6473
46	Mrk 141	154.7628	63.9507	0.22 ± 0.05	4.6	0.0417	Sy1	3	
47	PBC J1113.6+7942	168.8534	79.7113	0.34 ± 0.07	4.6	0.0372	Sy2	1,3	
48	IGR J11291+7302	172.2946	73.0448	0.25 ± 0.05	4.5	0.0214	AGN?		NVSS J065026+664937
49	Z Cam	126.1507	73.0603	0.22 ± 0.05	4.3		CV	3	
50	IGR J06507+6647	102.6886	66.7964	0.56 ± 0.13	4.2		AGN?		
51	IGR J07064+6353	106.6215	63.8969	0.60 ± 0.15	4.1	0.0140	Sy1.8	4	SRGA J070637.0+635109

^{a)} Источник есть также в следующих каталогах: 1 — обзор поля М81 ИНТЕГРАЛ (Мереминский и др., 2016), 2 — 17-летний обзор всего неба ИНТЕГРАЛ (Кривонос и др., 2022), 3 — 105-месячный обзор всего неба Свифт/БАТ (Ох и др., 2018), 4 — обзор всего неба СРГ/ART-XC (Сазонов и др., 2024).

В работе Кривонос и др. (2022) был представлен актуальный (основанный на 17 годах наблюдений) каталог источников обзора всего неба обсерватории ИНТЕГРАЛ, обнаруженных в диапазоне энергий 17–60 кэВ. Общими для двух каталогов являются 33 источника. Три источника из каталога Кривонос и др. (2022), IGR J10380+8435, IGR J11030+7027 и IGR J07563+5919, не превысили порог детектирования в текущем обзоре М81. Причем эти источники ранее регистрировались в этом поле в работе Мереминский и др. (2016), в которой использовался диапазон энергий 17–60 кэВ. По всей видимости, эти источники имеют относительно мягкие рентгеновские спектры, что не позволило их зарегистрировать на достаточно высоком уровне значимости после поднятия нижней границы энергетического диапазона с 17 до 25 кэВ в текущем обзоре.

Среди рентгеновских обзоров других обсерваторий наиболее схожим по диапазону энергий является уже упоминавшийся выше обзор всего неба телескопом БАТ (Бартельми и др., 2005) обсерватории Свифт им. Герельса (Герельс и др., 2004). Кросс-корреляция с каталогом источников, обнаруженных за 105 месяцев в диапазоне энергий 14–195 кэВ (Ох и др., 2018), выявила 38 пересечений

с новым каталогом обзора М81 обсерватории ИНТЕГРАЛ. Остальных 13 источников из нашего каталога нет в каталоге Ох и др. (2018).

Недавно был выпущен новый каталог источников, обнаруженных телескопом ART-XC им. Павлинского обсерватории Спектр-РГ в диапазоне энергий 4–12 кэВ по сумме пяти обзоров всего неба (Сазонов и др., 2024). С этим каталогом найдено 19 пересечений в текущем каталоге поля М81 обсерватории ИНТЕГРАЛ.

Шесть источников, обнаруженных в обзоре поля М81 обсерватории ИНТЕГРАЛ, не регистрировались ранее ни в одном из упомянутых выше рентгеновских обзоров всего неба.

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ,
ОБНАРУЖЕННЫЕ В ХОДЕ ОБЗОРА

Ряд источников в новом каталоге (см. табл. 1) ранее были неизвестны или плохо изучены. Мы попытались отождествить и предварительно классифицировать эти объекты на основе информации, имеющейся в разных астрономических каталогах. Эти случаи обсуждаются ниже.

№ 26. IGR J08501+6630

В области локализации этого источника прибором IBIS выделяется галактика MCG+11-11-029 на красном смещении $z = 0.0370$, наблюдаемая с ребра. С ней можно связать радиоисточник ILT J085033.04+662916.2 из обзора LOFAR (Шимвелл и др., 2022). При этом инфракрасный (ИК) цвет галактики по данным каталога ALLWISE (Катри и др., 2021), $W1 - W2 \approx 0.2$, более характерен для обычных галактик, чем для АЯГ. Тем не менее можно предположить, что мы имеем дело с поглощенным АЯГ, так как из-за ориентации галактики на небе ее ядро может скрываться от наблюдателя за толщей межзвездного вещества.

№ 30. IGR J08568+6703

Этот источник включен в неопубликованный третий Палермовский⁴ каталог жестких рентгеновских источников Свифт/BAT (Third Palermo-BAT Catalog, 3PBC⁵). По данным наблюдений телескопа XRT обсерватории Свифт он был отождествлен с мягким рентгеновским источником 2SXPS J085656.3+670255 (Эванс и др., 2020), который, в свою очередь, можно отождествить с протяженным объектом WISEA J085656.49+670257.3, который регистрировался на длинах волн от УФ (GALEX, galex) до радио (LOFAR, VLASS, lofar, vlass). При этом его ИК цвет $W1 - W2 \approx 0.9$ явно указывает на присутствие активного ядра.

№ 32. IGR J08451+6903

В области локализации прибора IBIS находится галактика LEDA 24565 на $z = 0.0405$ с характерным для АЯГ ИК цветом $W1 - W2 \approx 0.5$, которая является также радиоисточником (NVSS, nvss, и другие обзоры). Таким образом, это еще один кандидат в АЯГ.

№ 38. IGR J07088+7151

В этом месте на небе находится скопление галактик Abell 565 ($z = 0.1054$), которое проявляет себя как протяженный мягкий рентгеновский источник RXC J0708.1+7151 (Берингер и др., 2000) = XMMSL2 J070808.9+715150 (Сэкстон и др., 2008). Поток в мягком рентгене сравним с потоком жесткого рентгеновского излучения, которое регистрирует ИНТЕГРАЛ. Однако газ скопления недостаточно горячий ($kT = 3.68 \pm 0.12$ кэВ, xu22) для того, чтобы можно было связать жесткое рентгеновское излучение с тепловым излучением газа. Можно высказать осторожное предположение, что IGR J07088+7151 является АЯГ, расположенным в скоплении Abell 565.

⁴ Кусумано и др. (2010)

⁵ http://bat.ifc.inaf.it/bat_catalog_web/66m_bat_catalog.html

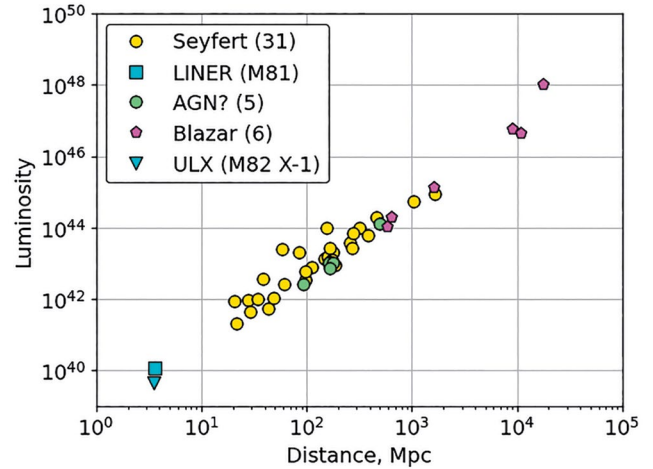


Рис. 4. Диаграмма расстояние — светимость в диапазоне 25–60 кэВ для внегалактических объектов в поле M81. Объекты разбиты на 5 категорий: 1) сейфертовские галактики (“Seyfert”, 31 объект), 2) галактики LINER (один объект M81), 3) блазары (“Blazar”, 6 объектов), 4) кандидаты в АЯГ (“AGN?”, 5 объектов с известным красным смещением), 5) ультраяркие рентгеновские источники (“ULX”, один объект M82 X-1).

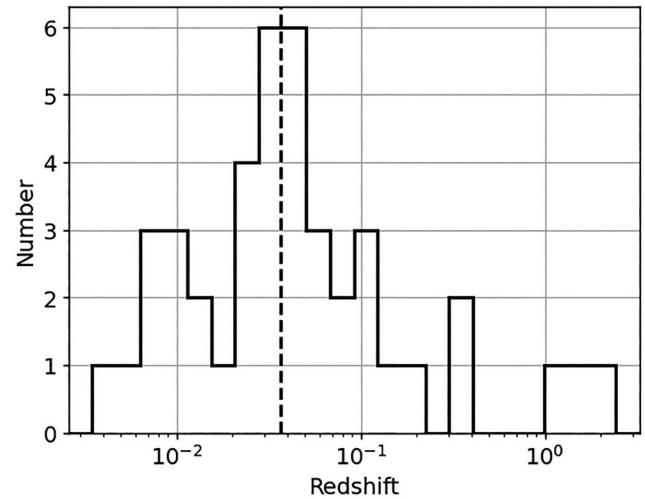


Рис. 5. Распределение красных смещений сейфертовских галактик, кандидатов в АЯГ, и блазаров. Вертикальной штриховой линией показано медианное значение $z_{\text{med}} = 0.0366$ для выборки сейфертовских галактик и кандидатов в АЯГ.

№ 39. IGR J09022+7319

В области локализации прибора IBIS выделяется галактика MCG+12-09-029 ($z = 0.0371$). Она не является примечательной с точки зрения ИК цвета $W1 - W2 = 0.0$ и каких-либо иных фотометрических признаков активности ядра. Тем не менее за

неимением лучших гипотез мы причисляем этот источник к кандидатам в АЯГ.

№ 41. IGR J11058+5852

По всей видимости, этот источник является наложением двух близко расположенных друг к другу на небе жестких рентгеновских источников SWIFT J1105.7+5854A и SWIFT J1105.7+5854B из каталога обзора всего неба Свифт/БАТ (Ох и др., 2018). Оба этих объекта являются сейфертовскими галактиками: Z 291–28 ($z = 0.0476$) и 2MASS J11053761+5851208 ($z = 0.1910$) соответственно. По данным прибора IBIS нам не удалось разделить эту пару источников.

№ 45. IGR J06571+7802

В области локализации прибора IBIS находится яркий радиоисточник NVSS J065745+780059, который регистрируется во многих обзорах. Он отождествляется со слабым ИК источником WISEA J065745.76+780101.2 ($W1 - W2 \sim 0.5$). Таким образом, это еще один кандидат в АЯГ.

№ 48. IGR J11291+7302

В области локализации прибора IBIS выделяется галактика UGC6473 ($z = 0.0214$). От нее регистрируется радиоизлучение (NVSS J112857+730202). ИК цвет $W1 - W2 \approx 0.1$ соответствует обычным галактикам, однако не исключает присутствие активного ядра, учитывая относительную близость и низкую светимость объекта. Поэтому мы относим этот объект к кандидатам в АЯГ.

№ 50. IGR J06507+6647

В области локализации прибора IBIS находится яркий радиосточник NVSS J065026+664937. С ним можно связать ИК источник WISEA J065026.72+664942.3, $W1 - W2 \approx 0.7$. Эти признаки указывают на присутствие АЯГ.

№ 51. IGR J07064+6353

Этот источник отождествляется с источником SRGA J070637.0+635109 из каталога обзора всего неба СРГ/ART-XC (Павлинский и др., 2022; Сазонов и др., 2024). Недавно был получен его оптический спектр, что позволило классифицировать его как сейфертовскую галактику типа 1.8 и измерить красное смещение: $z = 0.0140$ (Усков и др., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным многолетних наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ был проведен глубокий рентгеновский обзор области поля M81. Благодаря

накопленной экспозиции в 19.2 Мс в центральной части поля была достигнута рекордная чувствительность 0.16 мКраб в диапазоне 25–60 кэВ на уровне значимости детектирования 4σ . Полная площадь обзора составила 1004 кв. градуса на уровне чувствительности лучше 0.72 мКраб (4σ).

Каталог источников рентгеновского излучения, обнаруженных на уровне значимости выше 4σ , содержит 51 объект, большинство из которых являются активными ядрами галактик. Шесть источников не регистрировались ранее ни в каких рентгеновских обзорах. По имеющимся косвенным данным все они, а также еще два источника, которые ранее уже попадали в каталоги обзоров обсерватории ИНТЕГРАЛ, могут быть АЯГ, в том числе с сильным внутренним поглощением. Для проверки этого предположения требуется проведение направленных рентгеновских наблюдений и оптической спектроскопии.

Это исследование основано на наблюдениях в рамках проекта Европейского космического агентства ИНТЕГРАЛ, реализуемого при участии России и США. Данные получены из Европейского и Российского центров научных данных ИНТЕГРАЛ. Авторы выражают благодарность Е. М. Чуразову, разработавшему методы анализа данных прибора IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ, а также признательны Институту астрофизики им. Макса Планка (Германия) за вычислительную поддержку. Работа поддержана грантом РНФ 19-12-00396.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартельми и др. (S.D. Barthelmy, L.M. Barbier, J.R. Cummings, E.E. Fenimore, N. Gehrels, D. Hultinger, et al.), Space Sci. Rev. **120**(3–4), 143 (2005).
2. Берингер и др. (H. Böhringer, W. Voges, J.P. Huchra, B. McLean, R. Giacconi, P. Rosati, et al.), Astrophys. J. Suppl. Ser. **129**(2), 435 (2000).
3. Бианчи и др. (L. Bianchi, B. Shiao, and D. Thilker), Astrophys. J. Suppl. Ser. **230**(2), 24 (2017).
4. Венгер и др. (M. Wenger, F. Ochsenbein, D. Egret, P. Dubois, F. Bonnarel, S. Borde, et al.), Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **143**, 9 (2000).
5. Винклер и др. (C. Winkler, T.J.L. Courvoisier, G. Di Cocco, N. Gehrels, A. Gimenez, S. Grebenev, et al.), Astron. Astrophys. **411**, L1 (2003).
6. Герельс и др. (N. Gehrels, G. Chincarini, P. Giommi, K.O. Mason, J.A. Nousek, A.A. Wells, et al.), Astrophys. J. **611**(2), 1005 (2004).
7. Гордон и др. (Y.A. Gordon, M.M. Boyce, C.P. O'Dea, L. Rudnick, H. Andernach, A.N. Vantghem, et al.), Astrophys. J. Suppl. Ser. **255**(2), 30 (2021).
8. Грос и др. (A. Gros, A. Goldwurm, M. Cadolle-Bel, P. Goldoni, J. Rodriguez, L. Foschini, et al.), Astron. Astrophys. **411**, L179 (2003).

9. Караченцев, Кайсина и Макаров (I.D. Karachentsev, E.I. Kaisina, and D.I. Makarov), *MNRAS***479**(3), 4136 (2018).
10. Караченцев и др. (I.D. Karachentsev, A.E. Dolphin, D. Geisler, E.K. Grebel, P. Guhathakurta, P.W. Hodge, et al.), *Astron. Astrophys.* **383**, 125 (2002).
11. Катри и др. (R.M. Cutri, E.L. Wright, T. Conrow, J.W. Fowler, P.R. M. Eisenhardt, C. Grillmair, et al.), *VizieR Online Data Catalog* p. II/328 (2021).
12. Кондон и др. (J.J. Condon, W.D. Cotton, E.W. Greisen, Q.F. Yin, R.A. Perley, G.B. Taylor, et al.), *Astron. J.***115**(5), 1693 (1998).
13. Кречмар и др. (P. Kretschmar, F. Fu"rst, L. Sidoli, E. Bozzo, J. Alfonso-Garz'on, A. Bodaghee, et al.), *New Astron. Rev.* **86**, 101546 (2019).
14. Кривonos и др. (R. Krivonos, M. Revnvtsev, A. Lutovinov, S. Sazonov, E. Churazov, and R. Sunyaev), *Astron. Astrophys.* **475**(2), 775 (2007).
15. Кривonos и др. (R. Krivonos, M. Revnvtsev, S. Tsygankov, S. Sazonov, A. Vikhlinin, M. Pavlinsky, et al.), *Astron. Astrophys.* **519**, A107 (2010).
16. Кривonos и др. (R.A. Krivonos, A.J. Bird, E.M. Churazov, J.A. Tomsick, A. Bazzano, V. Beckmann, et al.), *New Astron. Rev.* **92**, 101612 (2021).
17. Кривonos и др. (R.A. Krivonos, S.Y. Sazonov, E.A. Kuznetsova, A.A. Lutovinov, I.A. Mereminskiy, and S.S. Tsygankov), *MNRAS***510**(4), 4796 (2022).
18. Ксу и др. (W. Xu, M.E. Ramos-Ceja, F. Pacaud, T.H. Reiprich, and T. Erben), *Astron. Astrophys.* **658**, A59 (2022).
19. Кусумано и др. (G. Cusumano, V. La Parola, A. Segreto, C. Ferrigno, A. Maselli, B. Sbarufatti, et al.), *Astron. Astrophys.* **524**, A64 (2010).
20. Лебран и др. (F. Lebrun, J.P. Leray, P. Lavocat, J. Cr'etolle, M. Arqu'es, C. Blondel, et al.), *Astron. Astrophys.* **411**, L141 (2003).
21. Лутовинов и др. (A. Lutovinov, V. Suleimanov, G.J. Manuel Luna, S. Sazonov, D. de Martino, L. Ducci, et al.), *New Astron. Rev.* **91**, 101547 (2020).
22. Малиция и др. (A. Malizia, L. Bassani, J.B. Stephen, A. Bazzano, and P. Ubertini), *Astron. Astrophys.* **639**, A5 (2020a).
23. Малиция и др. (A. Malizia, S. Sazonov, L. Bassani, E. Pian, V. Beckmann, M. Molina, et al.), *New Astron. Rev.* **90**, 101545 (2020b).
24. Мереминский и др. (I.A. Mereminskiy, R.A. Krivonos, A.A. Lutovinov, S.Y. Sazonov, M.G. Revnvtsev, and R.A. Sunyaev), *MNRAS***459**(1), 140 (2016).
25. Мереминский И.А., Сазонов С.Ю., Кривonos Р.А., Караченцев И.Д., Письма в Астрон. журн. **49**, 56 (2023) [I.A. Mereminskiy, S.Y. Sazonov, R.A. Krivonos, and I.D. Karachentsev, *Astron. Lett.* **49**(1), 1 (2023)].
26. Ох и др. (K. Oh, M. Koss, C.B. Markwardt, K. Schawinski, W.H. Baumgartner, S.D. Barthelmy, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **235**(1), 4 (2018).
27. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, S. Sazonov, R. Burenin, E. Filippova, R. Krivonos, V. Arefiev, et al.), *Astron. Astrophys.* **661**, A38 (2022).
28. Ричи и др. (C. Ricci, B. Trakhtenbrot, M.J. Koss, Y. Ueda, I. Del Vecchio, E. Treister, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **233**(2), 17 (2017).
29. Сазонов С.Ю., Лутовинов А.А., Кривonos Р.А., Письма в Астрон. журн. **40**, 83 (2014) [S.Y. Sazonov, A. Lutovinov, and R.A. Krivonos, *Astron. Lett.* **40**(2–3), 65 (2014)].
30. Сазонов и др. (S. Sazonov, A. Paizis, A. Bazzano, I. Chelovekov, I. Khabibullin, K. Postnov, et al.), *New Astron. Rev.* **88**, 101536 (2020).
31. Сэкстон и др. (R.D. Saxton, A.M. Read, P. Esquej, M.J. Freyberg, B. Altieri, and D. Bermejo), *VizieR Online Data Catalog* pp. J/A+A/480/611 (2008).
32. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), *Astron. Astrophys.* **656**, A132 (2021).
33. Талли и др. (R.B. Tully, E. Kourkchi, H.M. Courtois, G.S. Anand, J.P. Blakeslee, D. Brout, et al.), *Astrophys. J.* **944**(1), 94 (2023).
34. Убертини и др. (P. Ubertini, F. Lebrun, G. Di Cocco, A. Bazzano, A.J. Bird, K. Broenstad, et al.), *Astron. Astrophys.* **411**, L131 (2003).
35. Усков Г.С., Зазнобин И.А., Сазонов С.Ю., Семена А.Н., Гильфанов М.Р., Буренин Р.А. и др., Письма в Астрон. журн. **48**, 95(2022) [G.S. Uskov, I.A. Zaznobin, S.Y. Sazonov, A.N. Semena, M.R. Gilfanov, R.A. Burenin, et al., *Astron. Lett.* **48**(2), 87 (2022)].
36. Чуразов и др. (E. Churazov, R. Sunyaev, J. Isern, J. Knödseder, P. Jean, F. Lebrun, et al.), *Nature* **512**(7515), 406 (2014).
37. Шимвелл и др. (T.W. Shimwell, M.J. Hardcastle, C. Tasse, P.N. Best, H.J.A. Rottgering, W.L. Williams, et al.), *Astron. Astrophys.* **659**, A1 (2022).
38. Эванс и др. (P.A. Evans, K.L. Page, J.P. Osborne, A.P. Beardmore, R. Willingale, D.N. Burrows, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **247**(2), 54 (2020).