

*Конференция, посвященная 90-летию
Николая Семеновича Кардашева
«Вселенная: от большого взрыва до наших дней»
АКЦ ФИАН, Москва, 25-26 апреля 2022 г.*

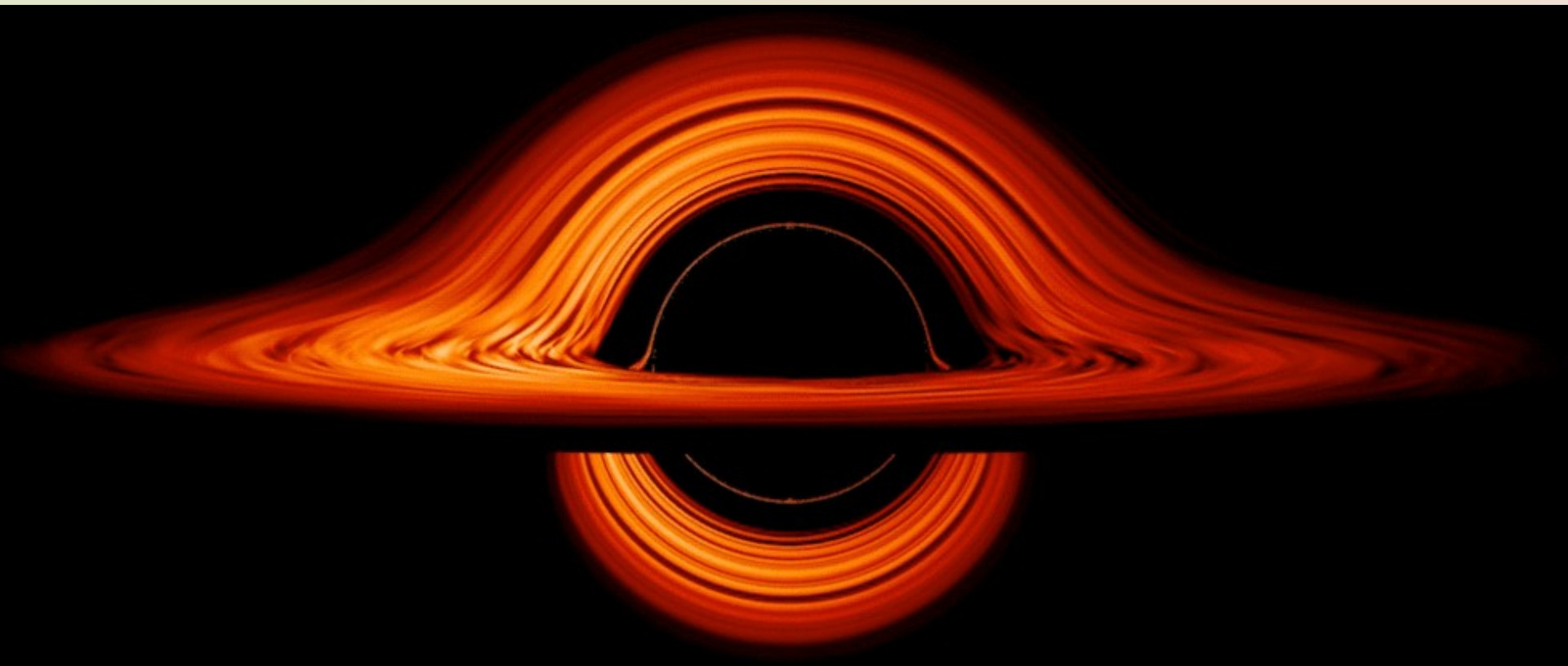
Каталог
Сверх**М**ассивных **Ч**ёрных **Д**ыр
для наблюдений теней черных дыр
на космической обсерватории
«Миллиметррон»

*А.М. Малиновский
Е.В. Михеева, В.Н. Лукаш, С.В. Репин*

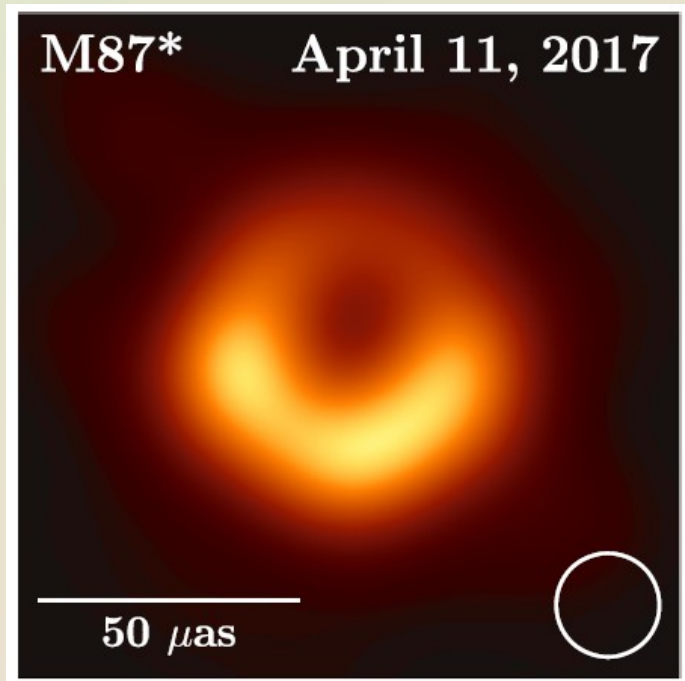
Перспективы наблюдения теней черных дыр:

- Измерение массы и углового момента черных дыр
- Оценка вклада аккреционного диска и джета в светимость активных ядер галактик
- Проверка ОТО в сильном гравитационном поле

Численное моделирование



Телескоп Горизонта Событий



- M87
- 1,3 мм
- $42 \pm 3 \mu\text{as}$
- $(6,5 \pm 0,7) \times 10^9 M_{\odot}$

Релятивистская магнитогидродинамика

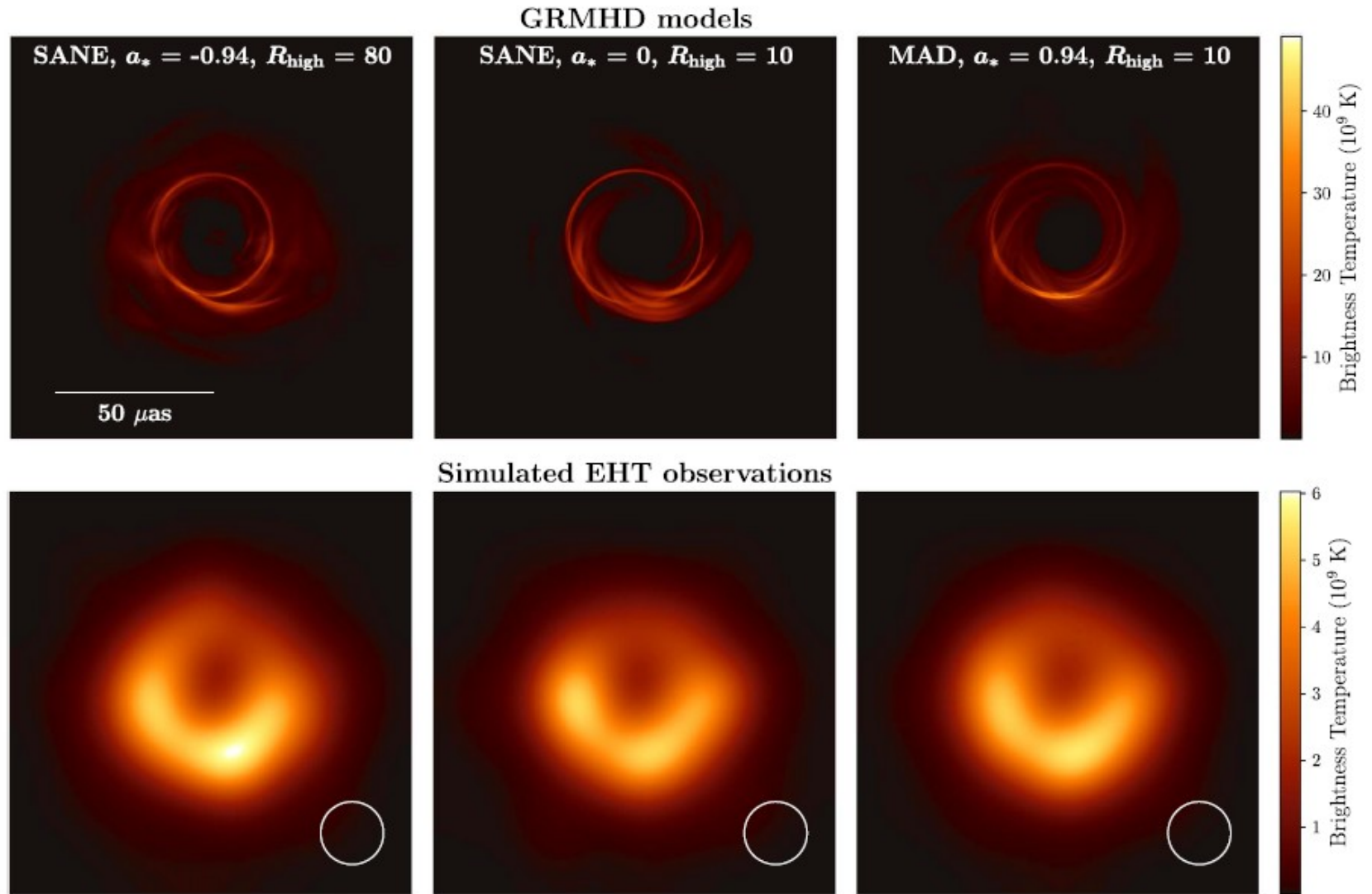
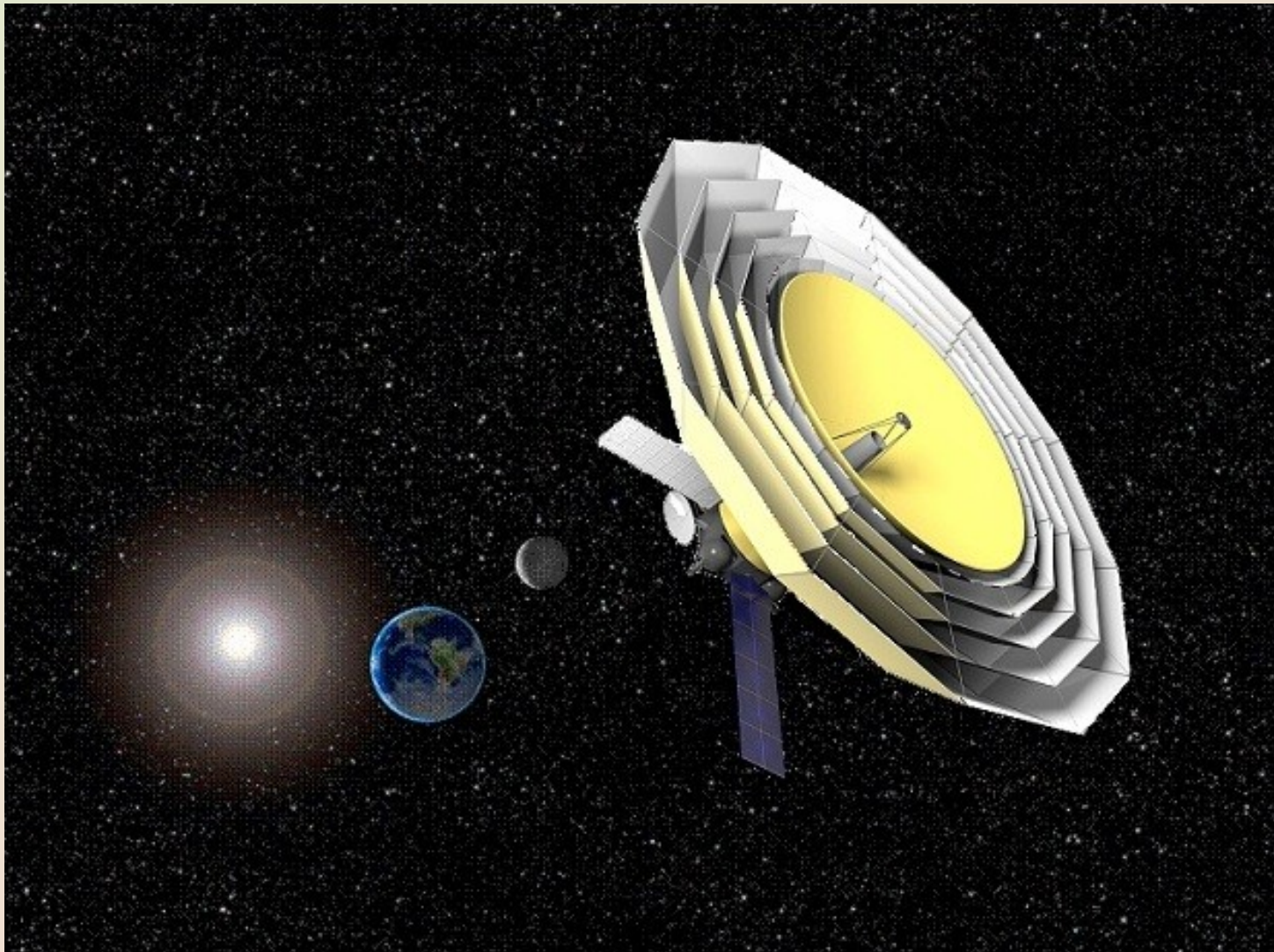


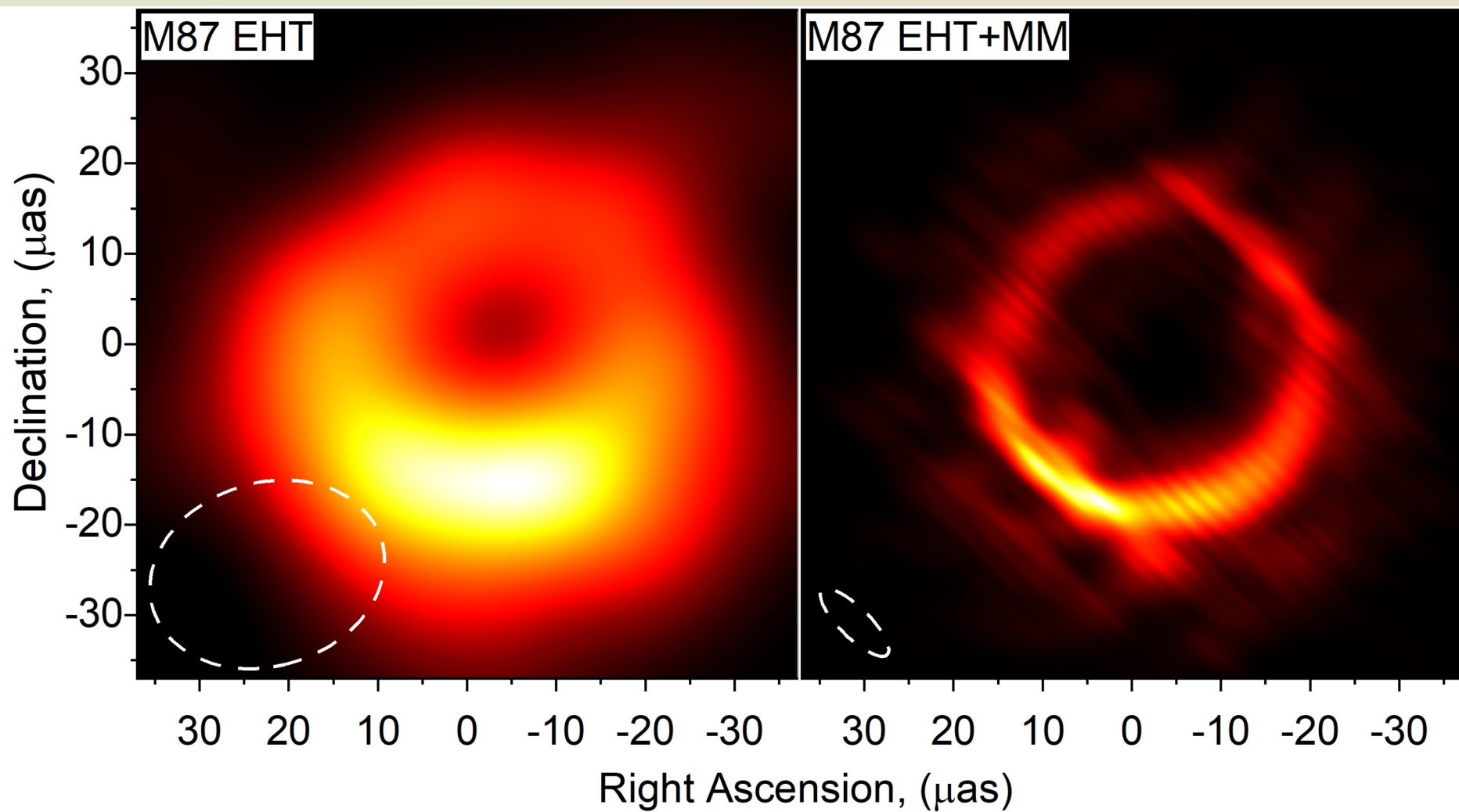
Figure 4. Top: three example models of some of the best-fitting snapshots from the image library of GRMHD simulations for April 11 corresponding to different spin parameters and accretion flows. Bottom: the same theoretical models, processed through a VLBI simulation pipeline with the same schedule, telescope characteristics, and weather parameters as in the April 11 run and imaged in the same way as Figure 3. Note that although the fit to the observations is equally good in the three cases, they refer to radically different physical scenarios; this highlights that a single good fit does not imply that a model is preferred over others (see Paper V).

“Миллиметррон”



- ТГС — лучше чувствительность
- “Миллиметрон” — лучше разрешение
- Совместное использование

ТСГ + “Миллиметрон” (MNRAS, 500, 4, 2021)



Наблюдения теней чёрных дыр – одна из задач проекта Миллиметрон.

Для этого надо построить каталог **подходящих** чёрных дыр.

Подходящая чёрная дыра: «большая» и на ярком «фоне».

$$\theta_{rg} = \frac{r_g}{D_A}$$

$r_g \equiv \frac{GM}{c^2}$ — гравитационный радиус

расстояние по угловому масштабу

угловой **диаметр** кольца $\longrightarrow \theta_{ring} \simeq 10,4 \theta_{rg}$

- Ограничения: угловой размер СМЧД, координаты и поток в частотных каналах “Миллиметрона”.
- Диапазоны «Миллиметрона»: 22, 43, 100, 240 и 350 ГГц, также, возможно, 600 и 800 ГГц
- Таблица с 20 лучшими кандидатами для наблюдений опубликована в *УФН № 5 2019*

Полный каталог 353 СМЧД

<http://millimetron.ru/index.php/en/scientific-program/the-catalog-of-supermassive-black-holes>

2 подкаталога

- 25 самых массивных СМЧД
- 25 СМЧД с самыми большими угловыми размерами

Содержимое каталога:

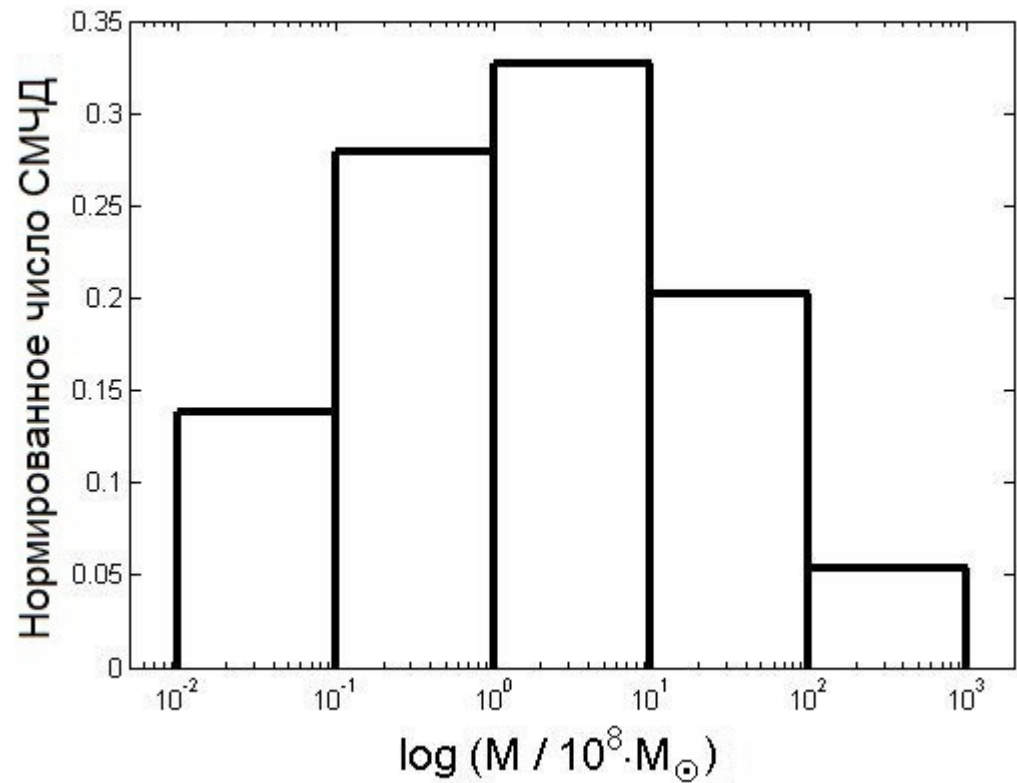
- 1 столбец** — название источника
- 2 столбец** — масса, выраженная в 10^8 масс Солнца
- 3 столбец** — расстояние по угловому масштабу (angular distance), Мпк, зависит от параметров космологической модели
- 4 столбец** — угловой масштаб под которым виден **гравитационный радиус** чёрной дыры
- 5 столбец** — прямое восхождение
- 6 столбец** — склонение
- 7 столбец** — частоты
- 8 столбец** — потоки
- 9 столбец** — ссылка

Таблица 1. 10 самых массивных СМЧД каталога

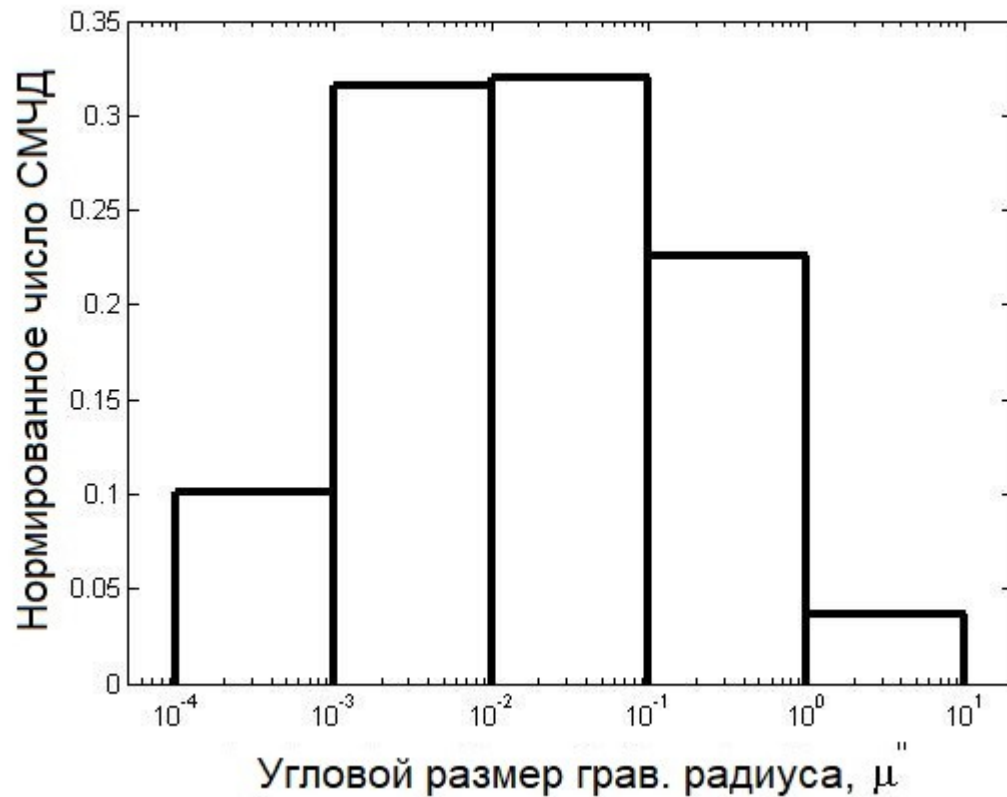
Объект	M , $10^8 M_{\odot}$	D_A , Мпк	Угловой размер μ , уг. сек.	Прямое восхождение, ч. м. с.	Накло- нение, град.	Часто- та, Гц	Поток, Ян	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
S5 0014+81	400	1531	0.26	00 17 08.5	+ 81 35 08	15 30-31	0.47-0.916 0.63-1.4	[10]
H1821 +643	300	912 (z)	0.32	18 21 57.3	+ 64 20 36	93 1800	0.01 1	[11]
APM 08279+5255	230	1447 (z)	0.16	08 31 41.7	+ 52 45 18	100	0.001	[12]
IRAS F 08279+5255	100	1447(z)	0.07			250 300 660 857	0.034 0.06 0.34 0.386	[13]
NGC 4889	210	103	2.01	13 00 08.13	+ 27 58 37.2	2.4	0.001	[7]
	209	102	2.02			3000	< 0.069	[8], [9]
SPT-CL J2344-4243	200	1374	0.15	23 44 42.2	- 42 43 08	1000	0.02	[14]
SDSS J074521.78 +734336.1	195	1554 (z)	0.13	07 45 21.78	+ 73 43 36.1		in NED absent	[15]
OJ 287	180	930	0.19	08 54 48.88	+ 20 06 39.6	22-23	2.4-6.1	[16]
	1	930	0.001			43 100 240 340 800	1.6-2.9 4.5 1.4-3 4.5 1.3-1.7	вторая ЧД
NGC 1600	170	64	2.6	04 31 39.9	- 05 05 10.0	5 3000	0.016 0.190	[9]
SDSS J080819.69 +373047.3	151	1513 (z)	0.10	08 08 19.69	+ 37 30 47.3	14000	0.002	[15]
SDSS J115954.33 +201921.1	141	1522 (z)	0.09	11 59 54.33	+ 20 19 21.1	325000	0.0006	[15]

Таблица 2. 10 СМЧД с самыми большими угловыми размерами теней

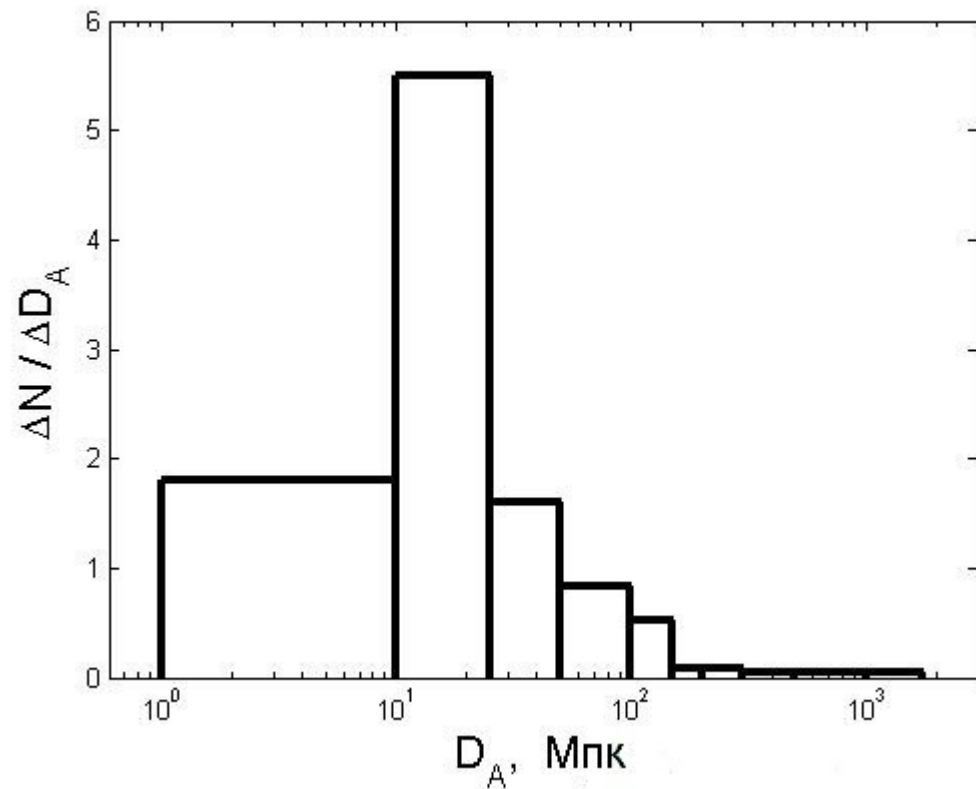
Объект	M , $10^8 M_{\odot}$	D_A , Мпк	Угловой размер μ , уг. сек.	Прямое восхождение, ч. м. с.	Накло- нение, град.	Часто- та, ГГц	Поток, Ян	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Srg A*	0.041	0.008	5.06	17 45 40.02	- 29 00 28.17	43	1.3-1.9	[6], [7]
	0.0431	0.00833	5.11			100	2.1-2.4	[8], [9]
						240	2.8-4.1	
						340	3	
NGC 4486	36	17	2.09	12 30 49.42	+ 12 23 28.0	22-23	0.5-21	[6]
M 87	63	17	3.66			41	3.6-13.5	[7]
	62	16.7	3.67			94-100	0.5-5.3	[8], [9]
						300	1.3	
						600	1.4	
						860	1	
NGC 4649	21	16.5	1.23	12 43 40.4	+ 11 33 10	10.5	0.018	[6]
M 60	47	16.5	2.81			1700	< 0.1	[7], [8], [9]
NGC 1600	170	64	2.6	04 31 39.9	- 05 05 10.0	5	0.016	[9]
						3000	0.190	
NGC 4889	210	103	2.01	13 00 08.13	+ 27 58 37.2	2.4	0.001	[7]
	209	102	2.02			3000	< 0.069	[8], [9]
NGC 224	1.5	0.8	1.85	00 42 44.35	+ 41 16 08.6	5	0.036	[6], [7]
	M 31	1.4	0.77			1900	7800	[8], [9]
NGC 1407	45	28	1.6	03 40 11.8	-18 34 48	5	0.034	[8], [9]
						1900	0.092	
NGC 4472	25	17.1	1.44	12 29 46.7	+ 08 00 02	15	0.004	[8], [9]
						96	0.15	
						1667	< 0.09	
NGC 3706	59	46	1.3	11 29 44.4	- 36 23 29	5	0.025	[9]
						1900	< 0.022	
NGC 3923	28	20.9	1.3	11 51 01.7	- 28 48 22	5	0.001	[8], [9]
						1900	0.048	



Нормированное число СМЧД как функция массы



Нормированное число СМЧД как функция углового размера гравитационного радиуса



Осредненное по сферическому слою число СМЧД
как функция расстояния

