



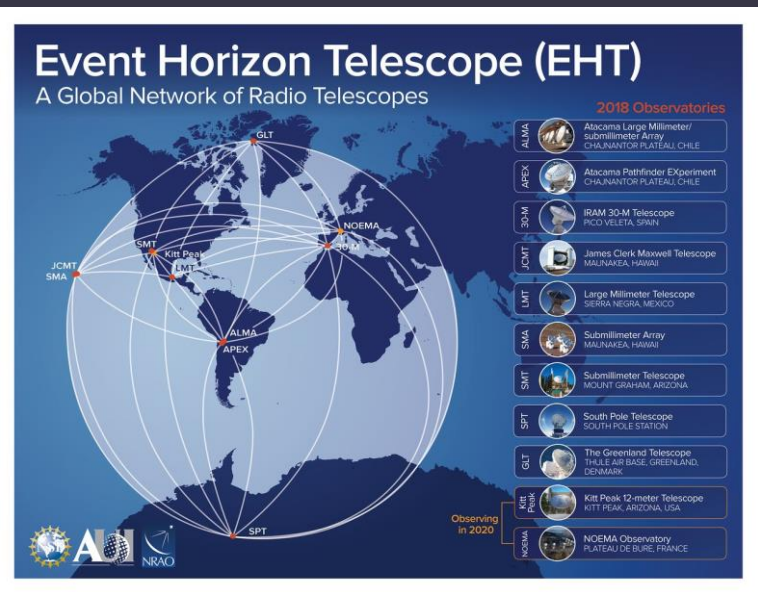
# Астрофизические итоги 2019

---

СЕРГЕЙ ПОПОВ



# Тенденция: года успехи радиоастрономов



Наблюдения окрестностей  
сверхмассивных черных дыр  
с высоким угловым разрешением.

Картинка для M87.

Быстрые радиовсплески (FRB).  
Открытие повторных источников,  
идентификация галактик и т.д.



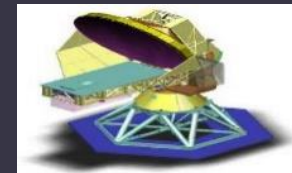
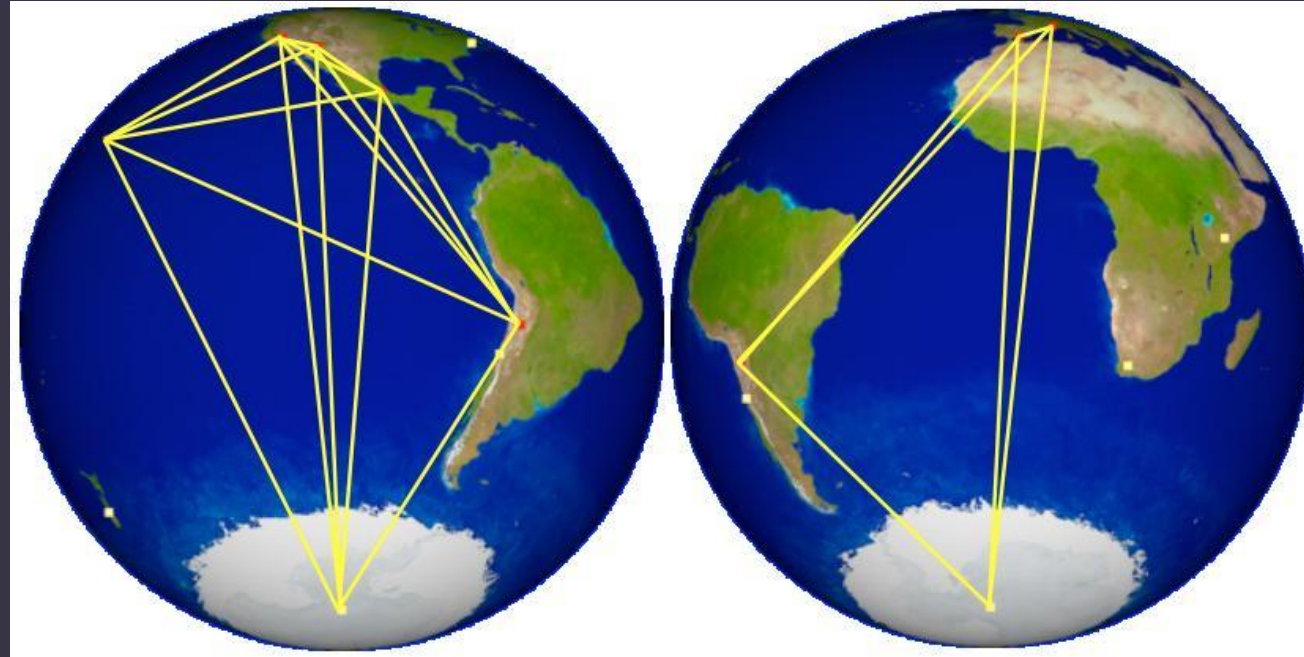
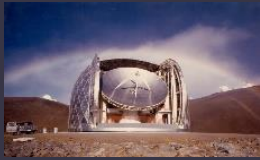
Ввод новых инструментов: MeerKAT и др.



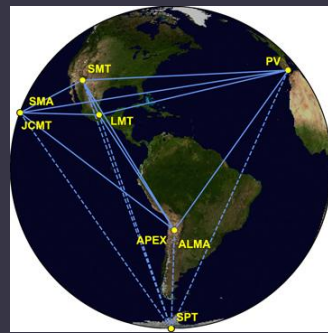
Начало работы и первые результаты  
самого большого телескопа FAST.

Наблюдения FRB, открытие пульсара ...

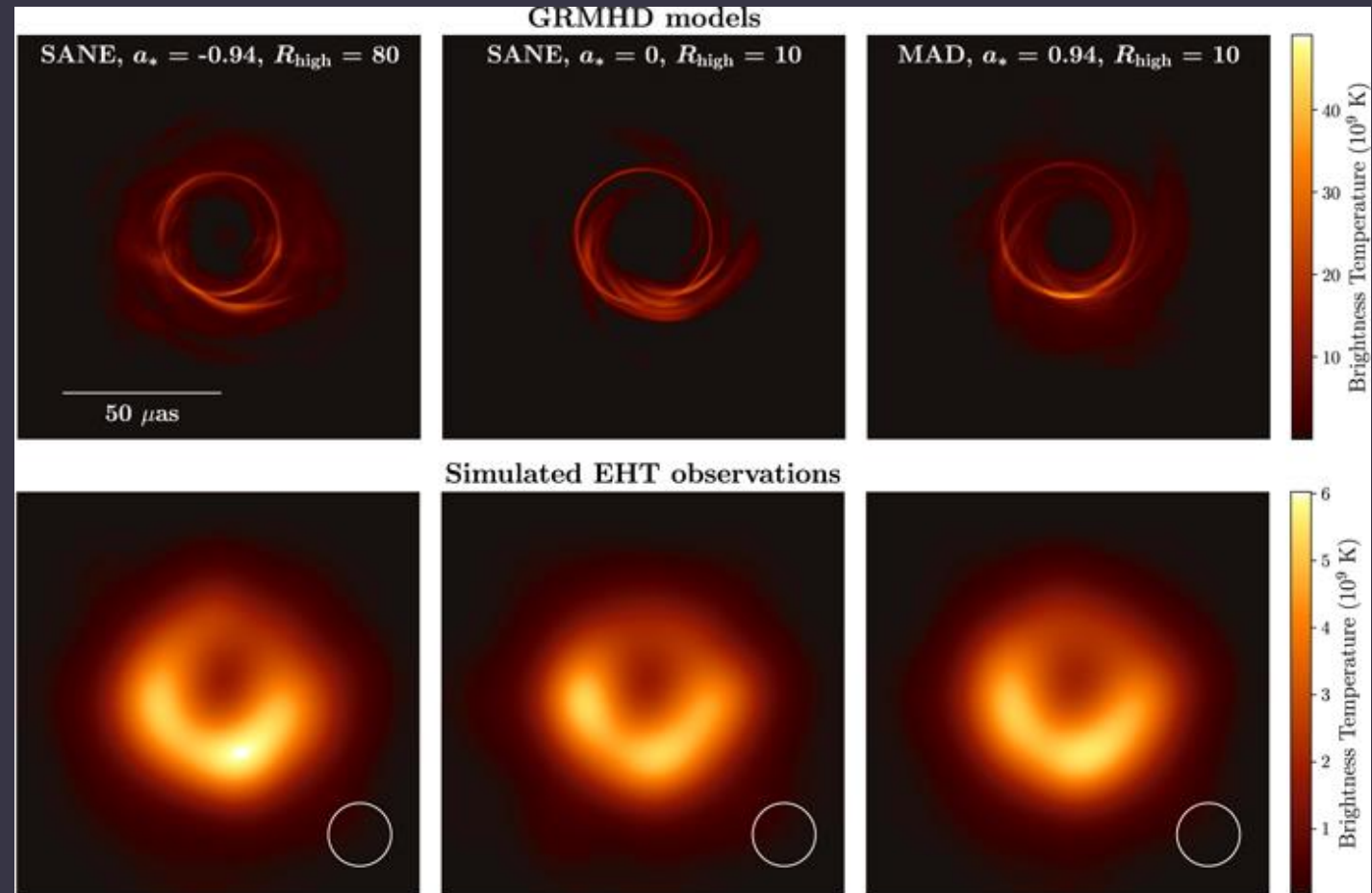
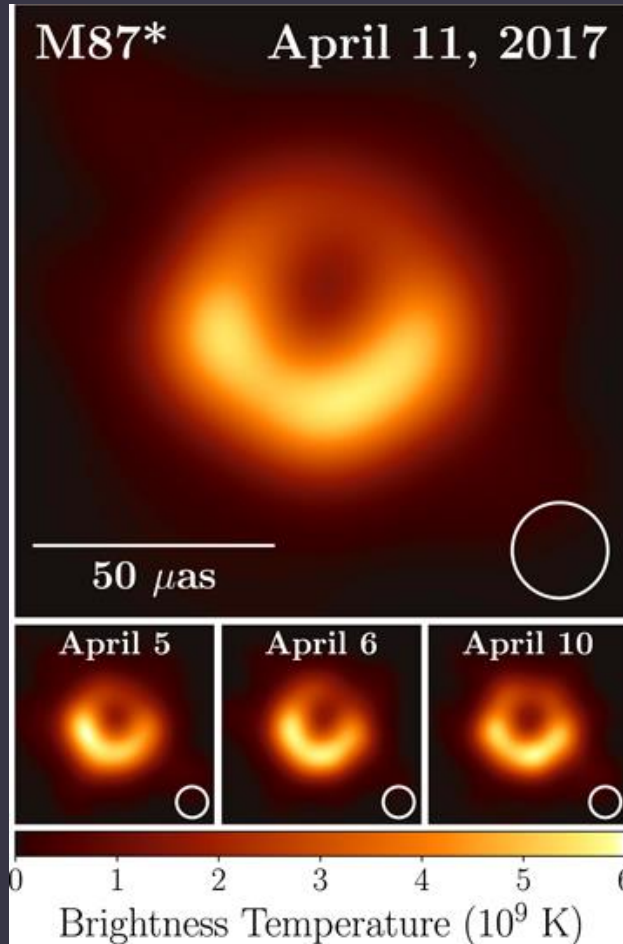
# Event horizon telescope



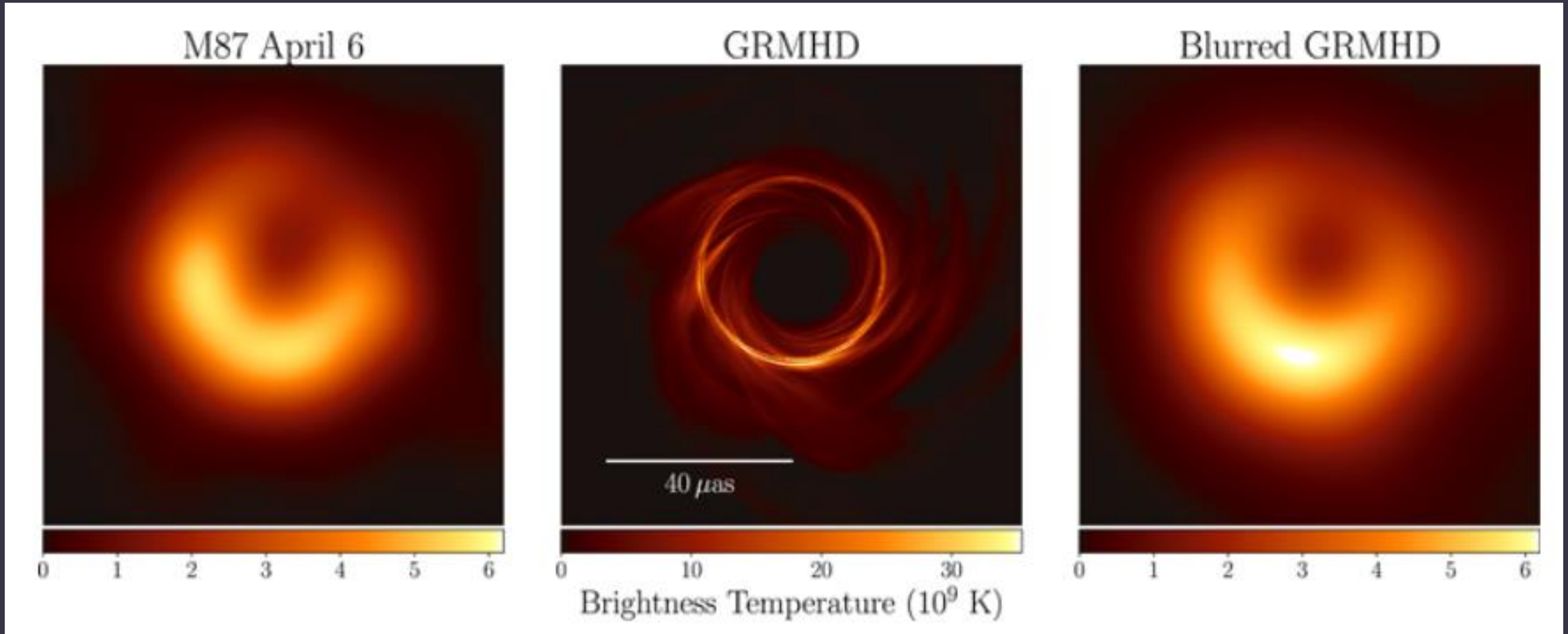
# Черная дыра в M87



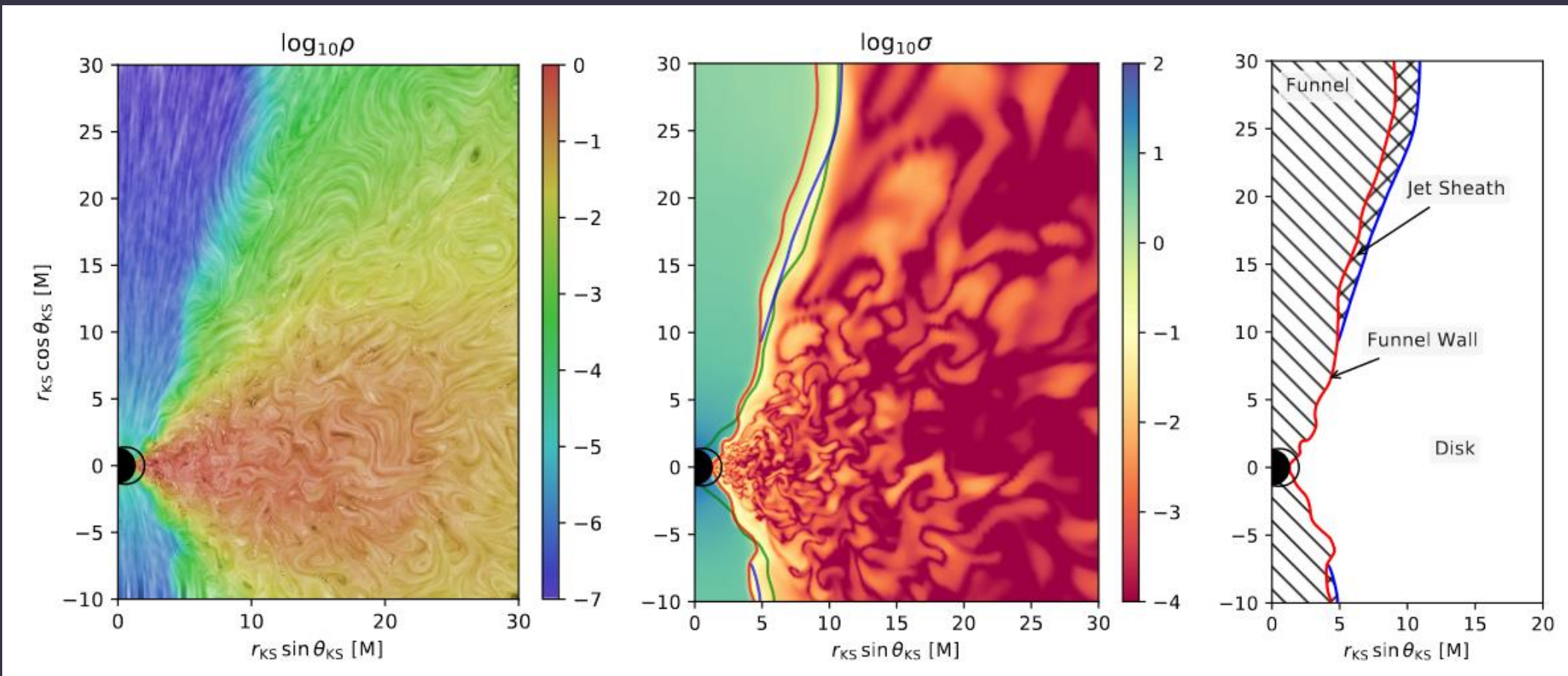
<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0ec7>



# Наблюдения и модели

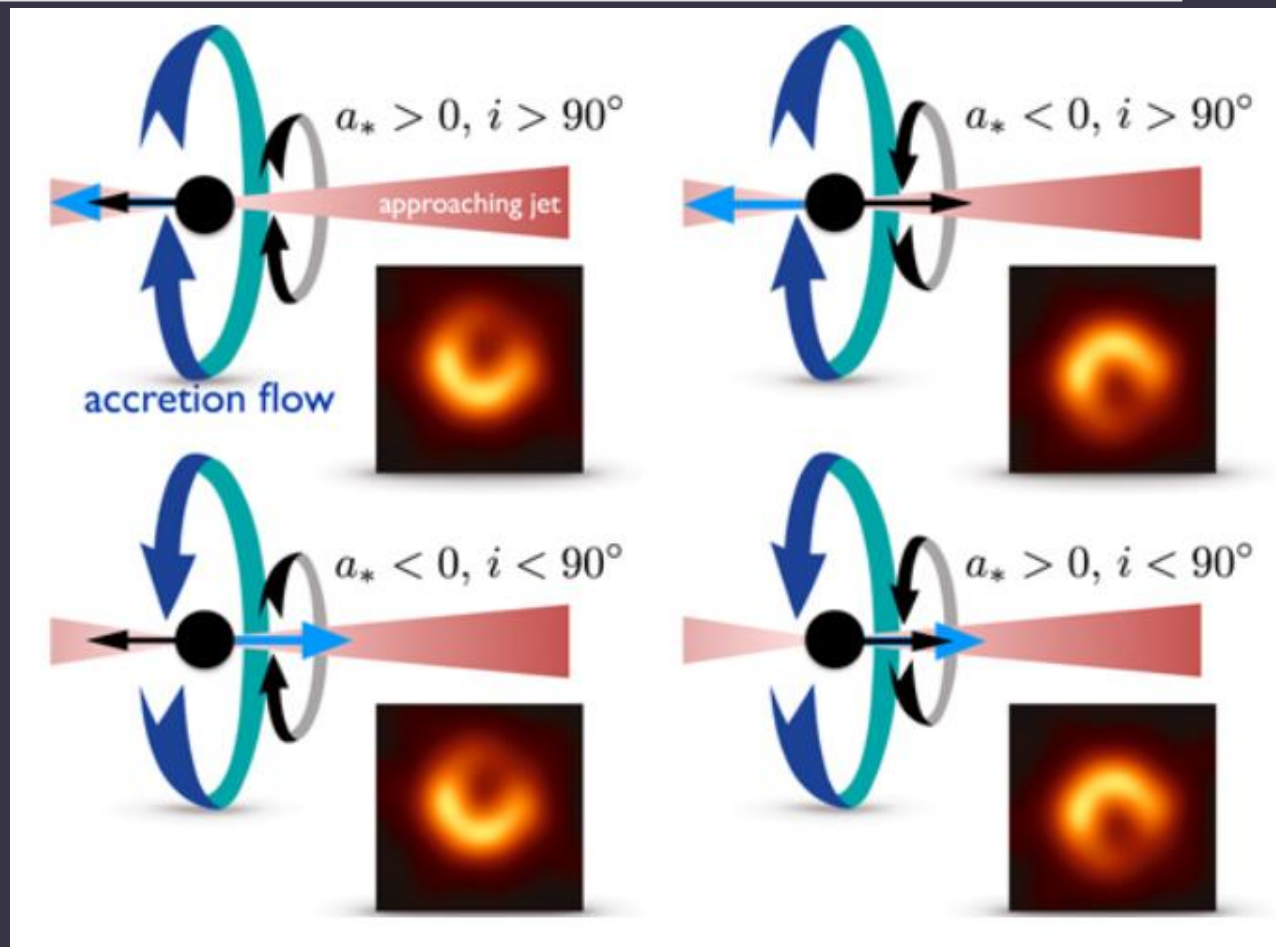


# Много детального моделирования



# Что куда вращается

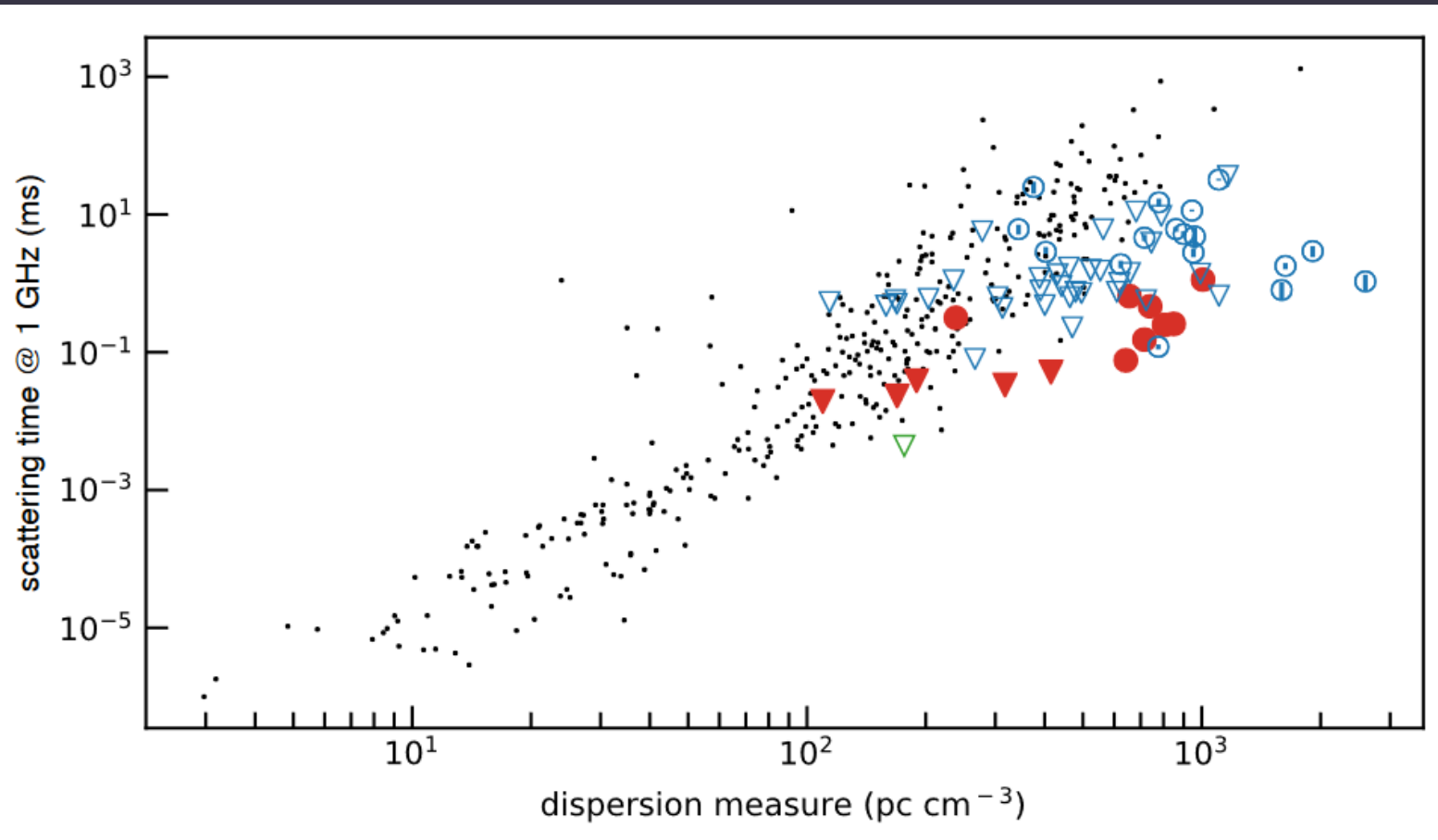
Яркая область соответствует веществу, двигающемуся в нашу сторону. В наиболее реалистичных моделях это в первую очередь зависит от направления вращения черной дыры.



# Результаты CHIME

13 FRBs at ~400 MHz

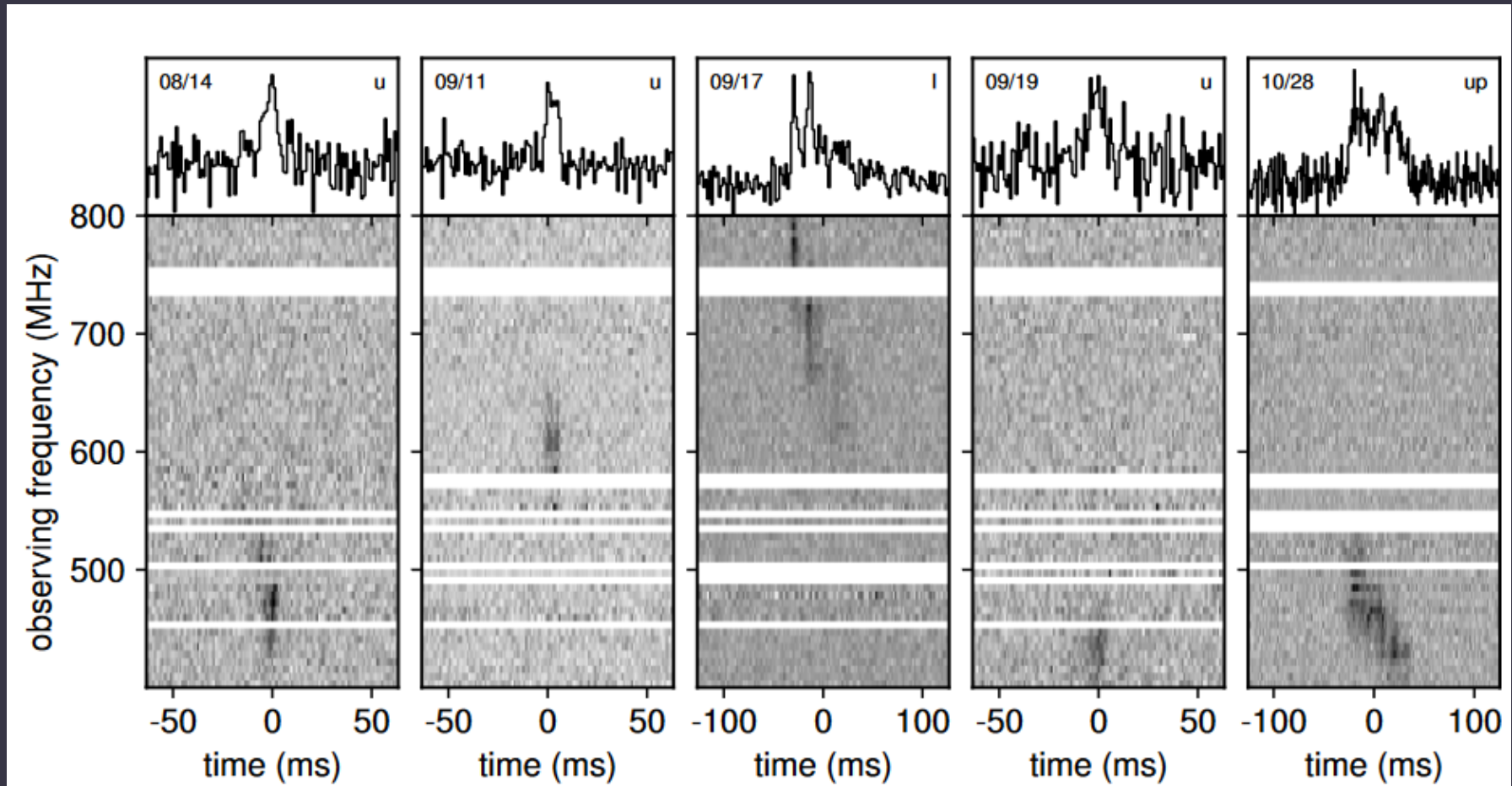
FRB	Width (ms)	DM (pc cm <sup>-3</sup> )
180725.J0613+67	0.31 <sup>+0.08</sup> <sub>-0.07</sub>	715.98 <sup>+0.02</sup> <sub>-0.01</sub>
180727.J1311+26	0.78 ± 0.16	642.07 ± 0.03
180729.J1316+55	0.12 ± 0.01	109.610 ± 0.002
180729.J0558+56	< 0.08	317.37 ± 0.01
180730.J0353+87	0.42 ± 0.04	849.047 ± 0.002
180801.J2130+72	0.51 ± 0.09	656.20 ± 0.03
180806.J1515+75	< 0.69	739.98 ± 0.03
180810.J0646+34	< 0.27	414.95 ± 0.02
180810.J1159+83	0.28 ± 0.03	169.134 ± 0.002
180812.J0112+80	1.25 <sup>+0.49</sup> <sub>-0.47</sub>	802.57 ± 0.04
180814.J1554+74	< 0.18	238.32 ± 0.01
<b>180814.J0422+73</b>	2.6 ± 0.2	189.38 ± 0.09
180817.J1533+42	< 0.37	1006.840 ± 0.002





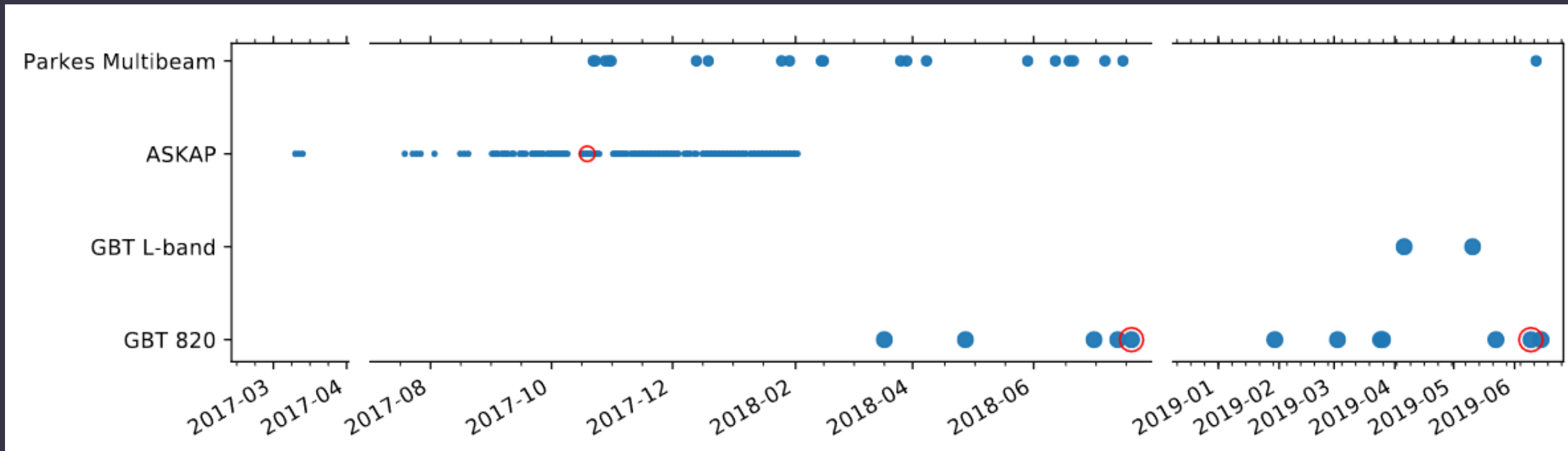
# Второй повторный источник

FRB 180814  
CHIME



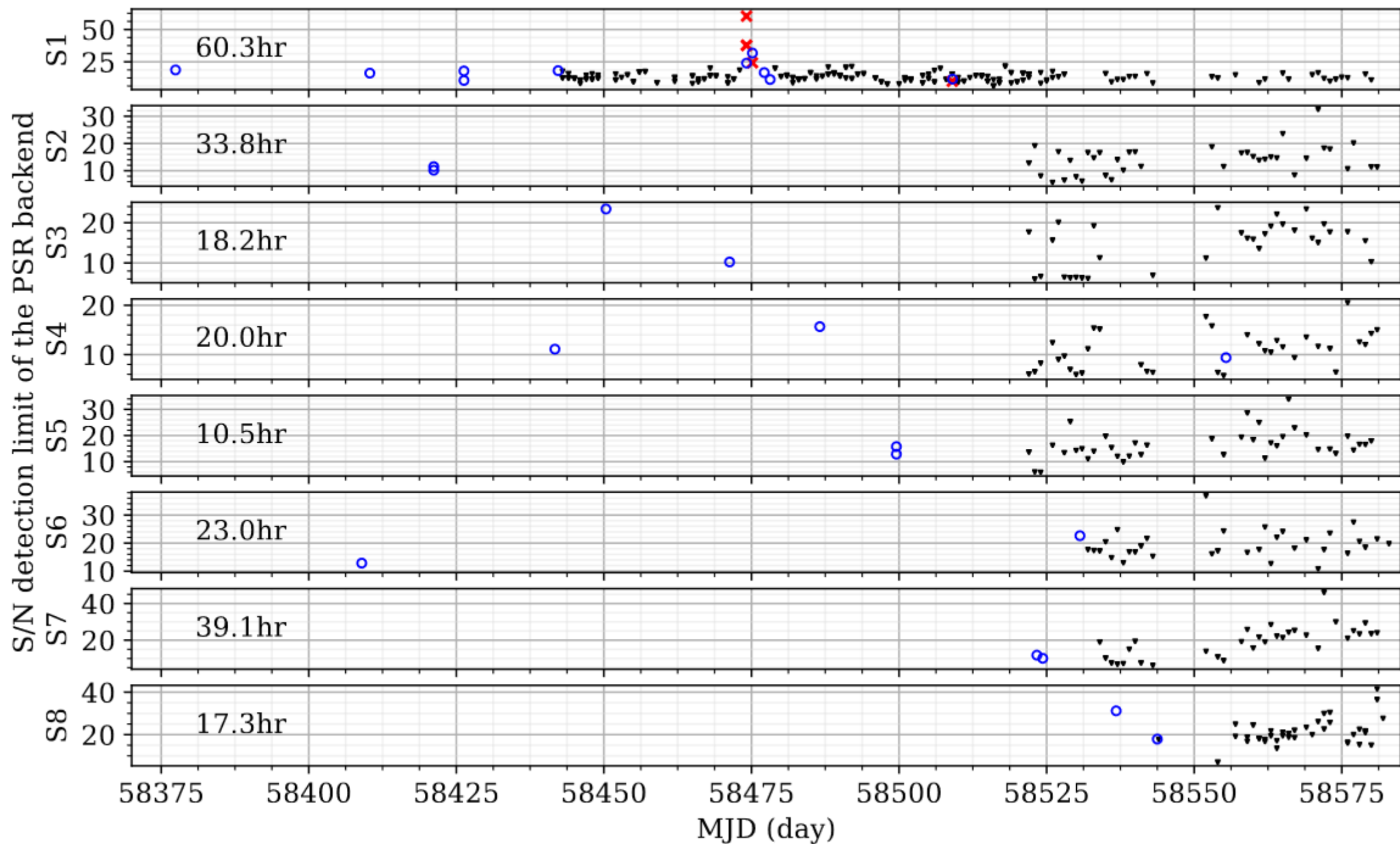
# Третий повторный .....

FRB 171019. Открыт на установке у ASKAP.  
Два слабых всплеска зарегистрированы  
на частоте ~800 МГц на GBT.



# Восемь повторных от CHIME

Source	Name <sup>a</sup>	R.A. <sup>b</sup> (J2000)	Dec. <sup>b</sup> (J2000)	$l^c$ (deg)	$b^c$ (deg)	DM <sup>d</sup> (pc cm <sup>-3</sup> )	DM <sub>NE2001</sub> <sup>e</sup> (pc cm <sup>-3</sup> )	DM <sub>YMW16</sub> <sup>e</sup> (pc cm <sup>-3</sup> )	N <sub>bursts</sub>	Exposure <sup>f</sup> (hr, upper / lower)	Completeness <sup>g</sup> (Jy ms)
1	180916.J0158+65	1h58m±7'	+65°44'±11'	129.7	3.7	349.2(3)	200	325	10	23±8	4.2
2	181030.J1054+73	10h54m±8'	+73°44'±26'	133.4	40.9	103.5(3)	40	32	2	27±14 / 19±11	... / 17
3	181128.J0456+63	4h56m±11'	+63°23'±12'	146.6	12.4	450.5(3)	112	151	2	16±10	4.0
4	181119.J12+65	12h42m±3' 12h30m±6'	+65°08'±9' +65°06'±12'	124.5	52.0	364.05(9)	34	26	3	19±9	2.6
5	190116.J1249+27	12h49m±8'	+27°09'±14'	210.5	89.5	441(2)	20	20	2	8±5	5.7
6	181017.J1705+68	17h05m±12'	+68°17'±12'	99.2	34.8	1281.6(4)	43	37	2	20±11	5.6
7	190209.J0937+77	9h37m±8'	+77°40'±16'	134.2	34.8	425.0(3)	46	39	2	34±19 / 28±18	3.8 / ...
8	190222.J2052+69	20h52m±10'	+69°50'±11'	104.9	15.9	460.6(2)	87	101	2	20±10	5.4



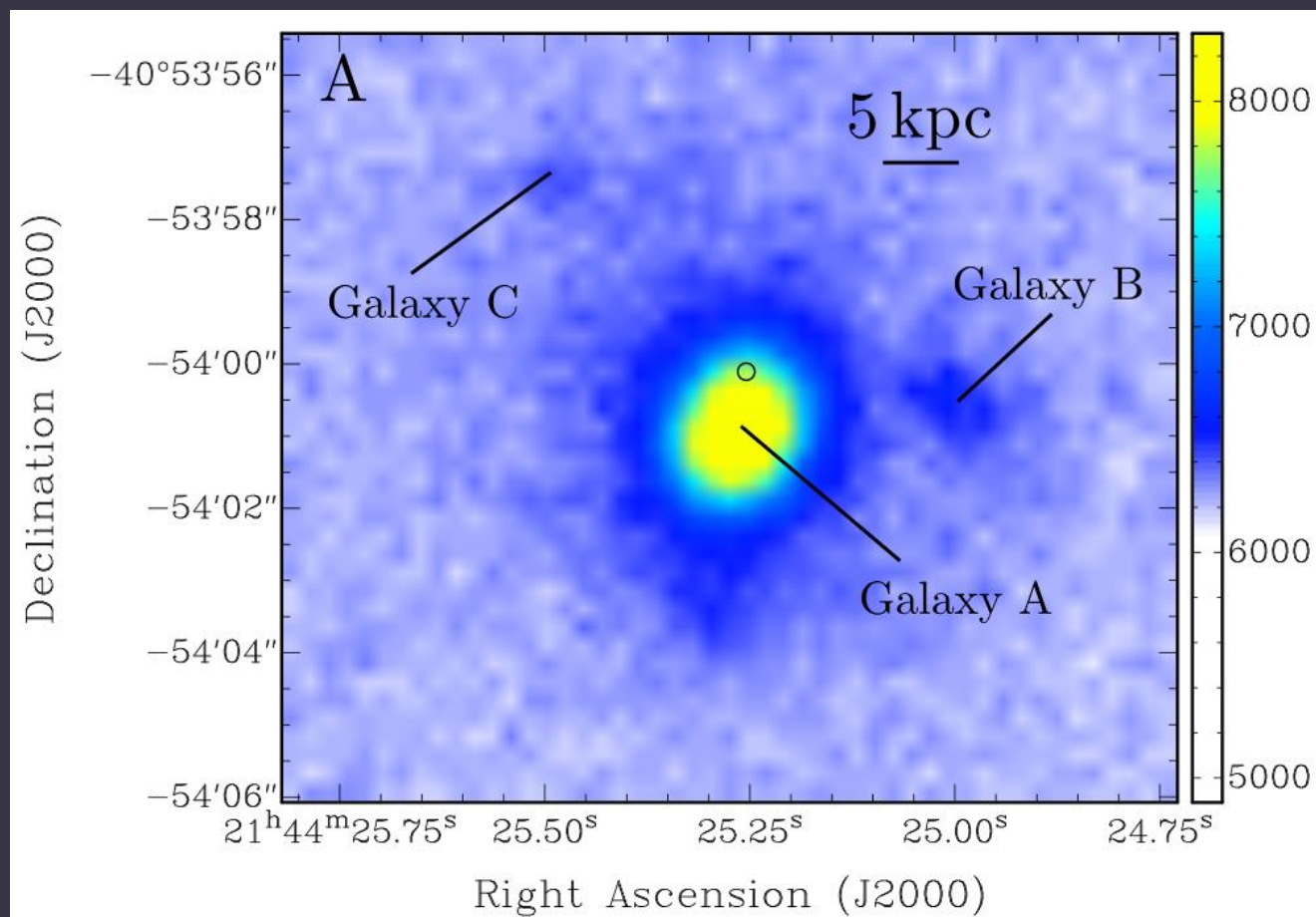
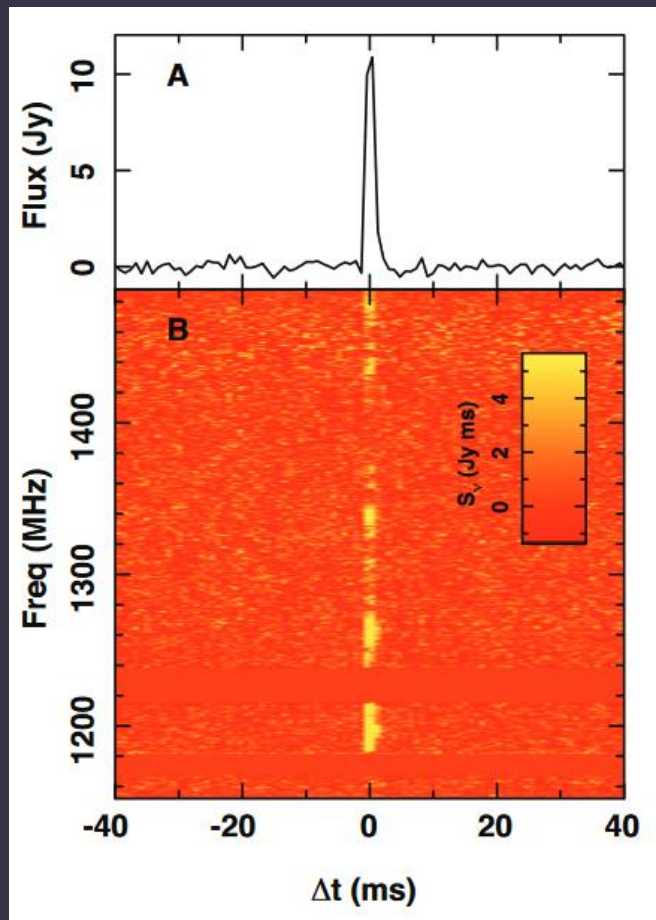
# Вторая локализация FRB

ASKAP

FRB 180924  
не повторный

16 Ян  
DM~360  
линейная поляриз.  
RM~14

Локализация  
~0.12 arcsec  
z=0.32  
Массивная  
линзовидная  
или эллиптическая



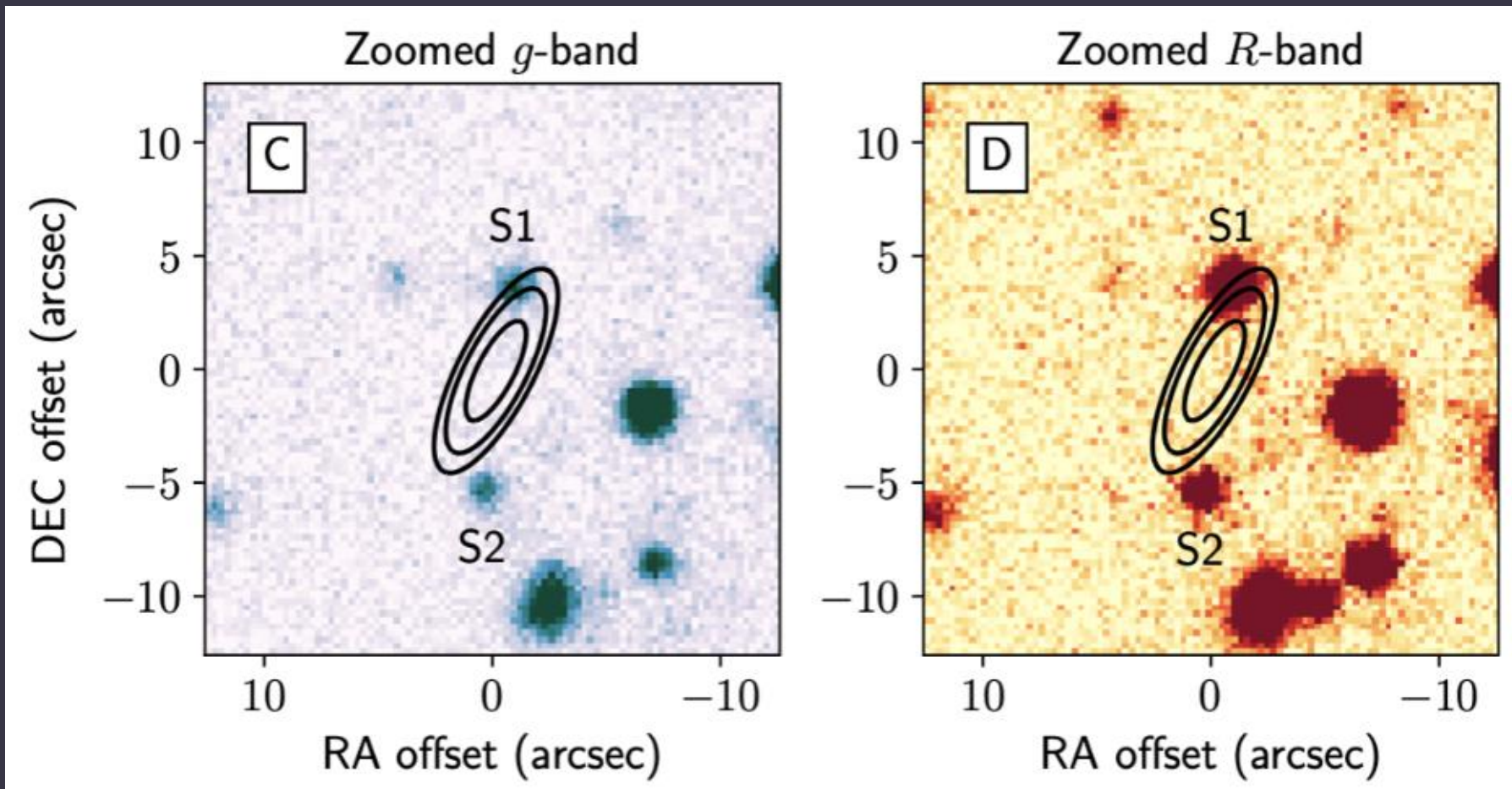
# Третья локализация

Антенна DSA-10  
1.4 ГГц

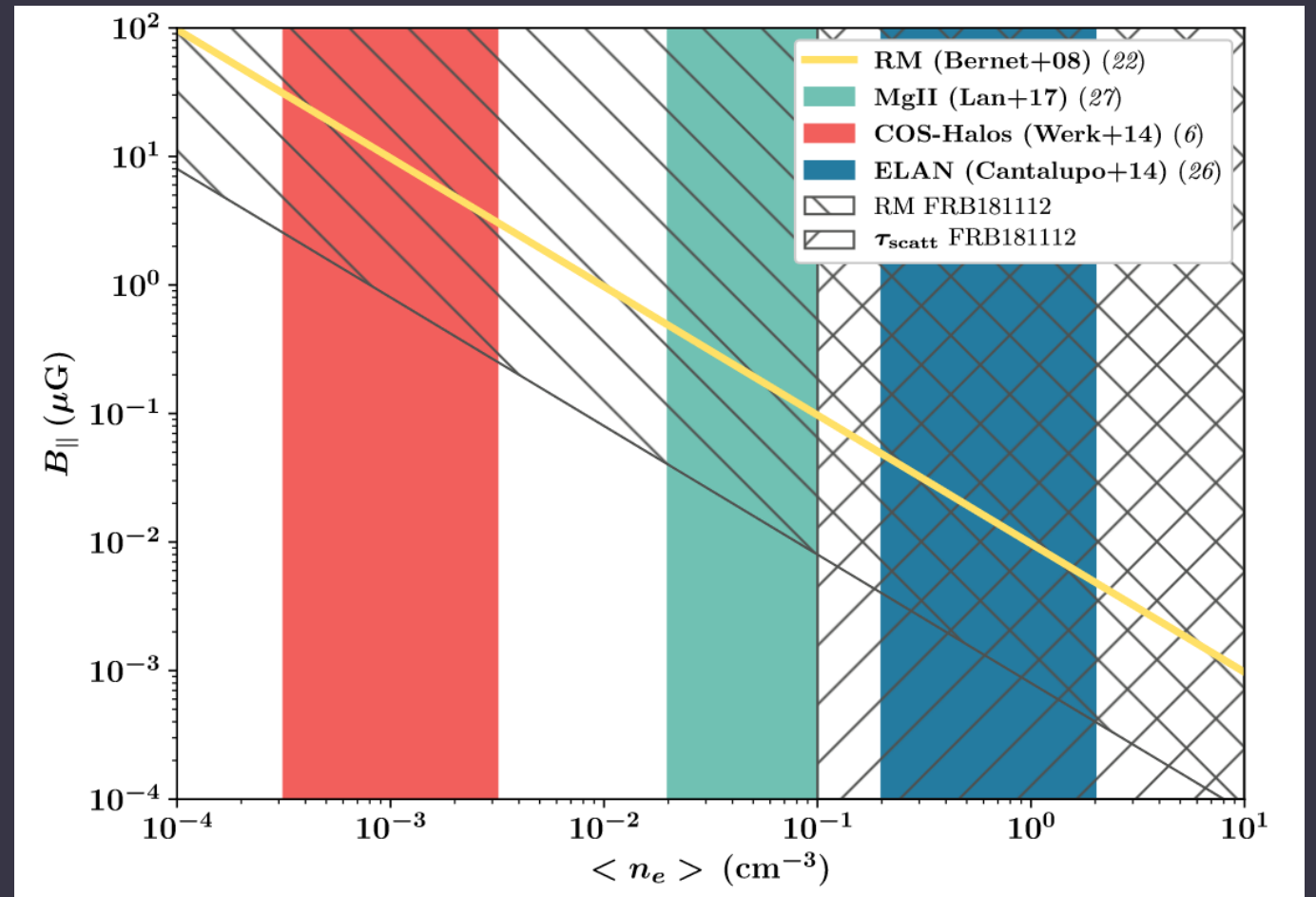
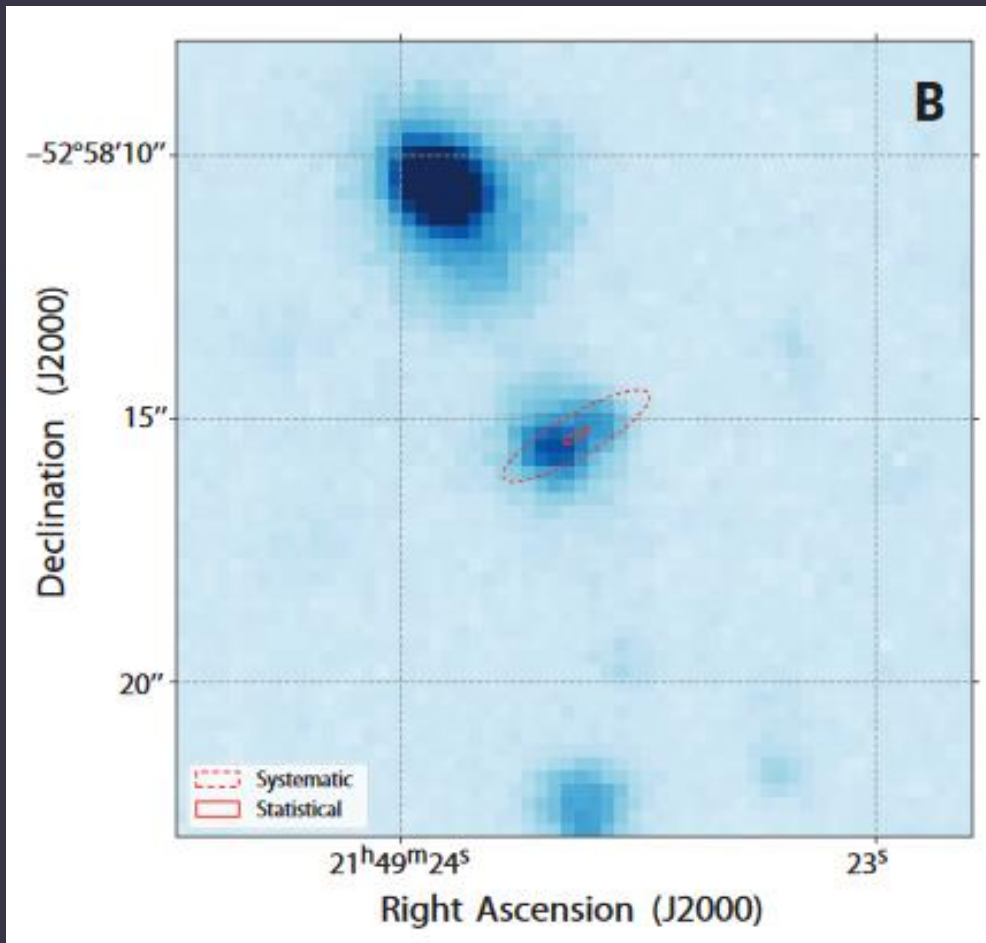
FRB 190523  
Не повторный

DM=760

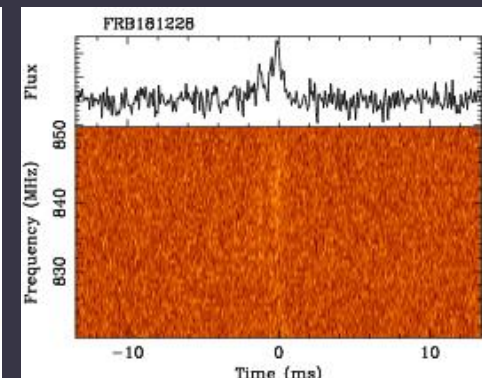
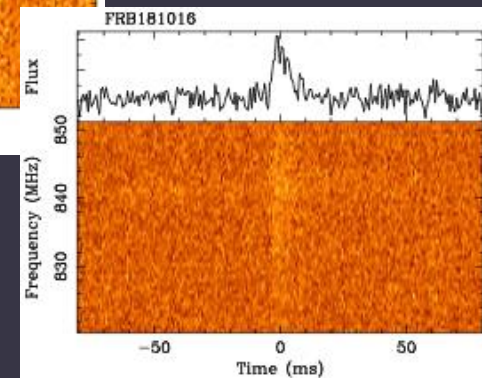
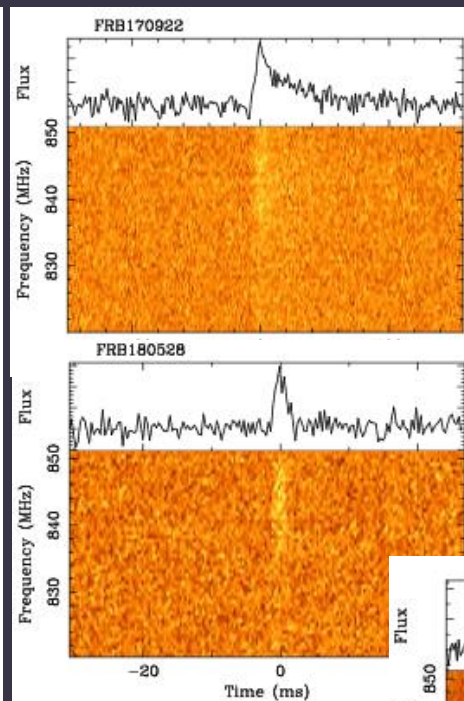
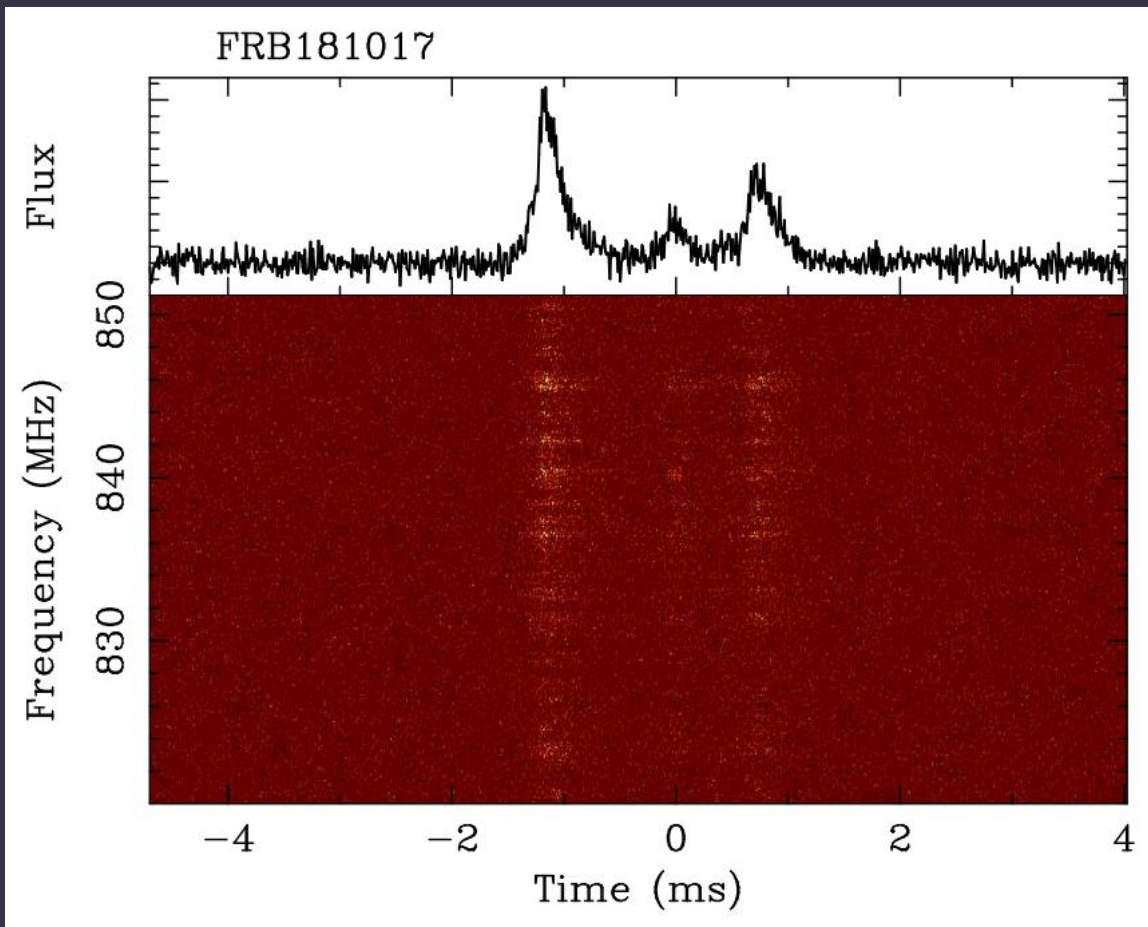
Массивная гал-ка  
 $z=0.66$   
 $SFR < \sim 1/3$  от Галак.



# Четвертая локализация и просвечивание гало

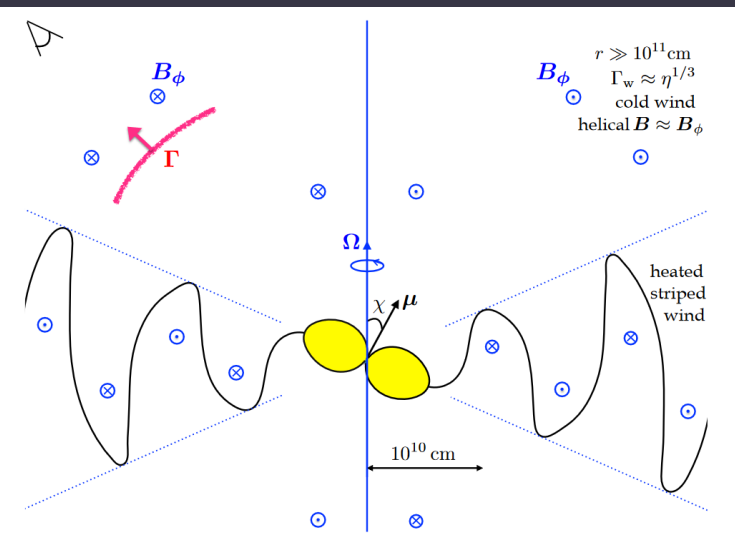


# Пять всплесков в реальном времени



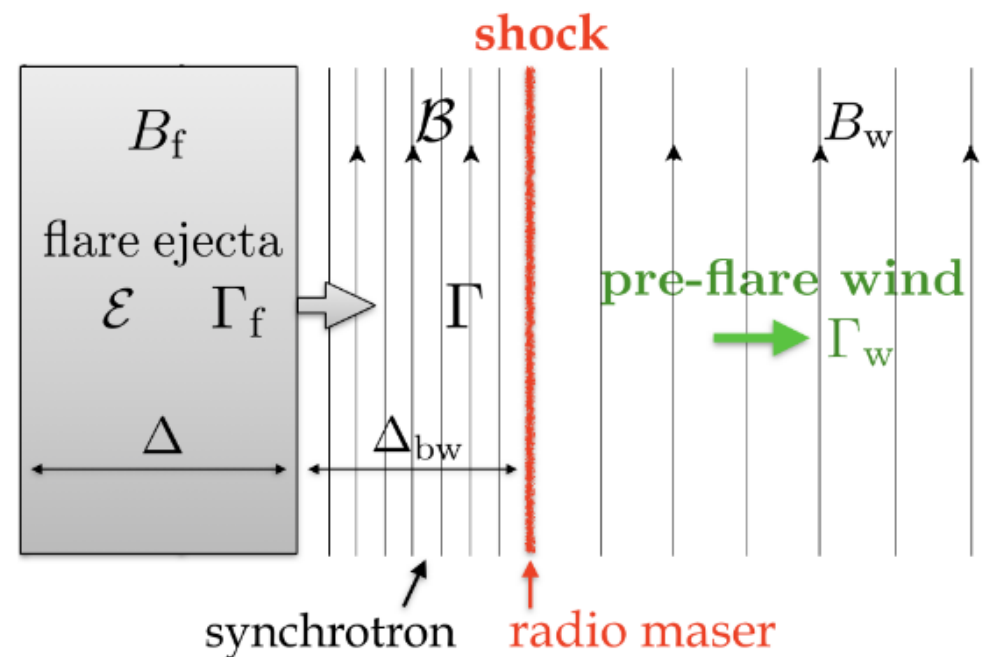
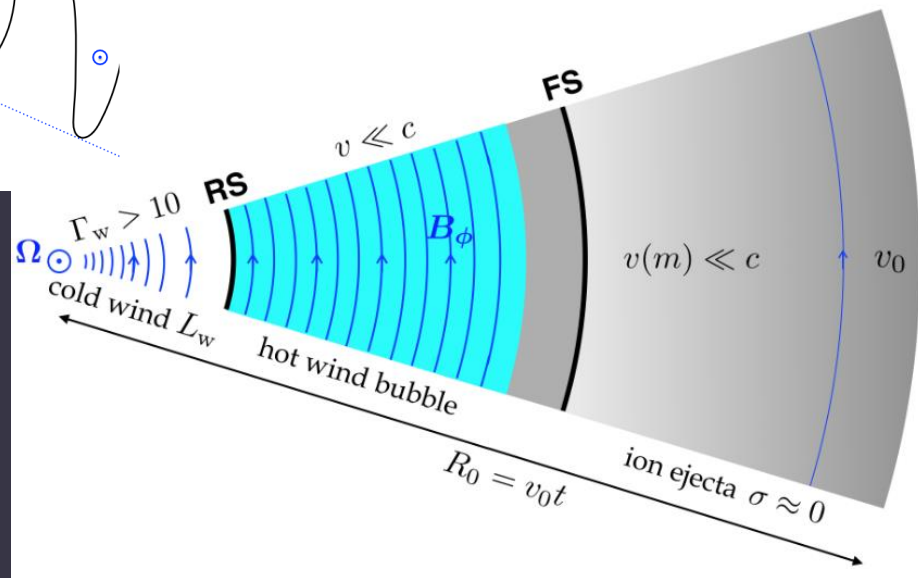


# Теоретическая модель всплесков



Сценарий разработан в рамках магнитной модели. Хорошо подходит для повторных источников.

Сделаны дополнительные предсказания, позволяющие потенциально проверить модель в ближайшем будущем.



# Самая массивная нейтронная звезда

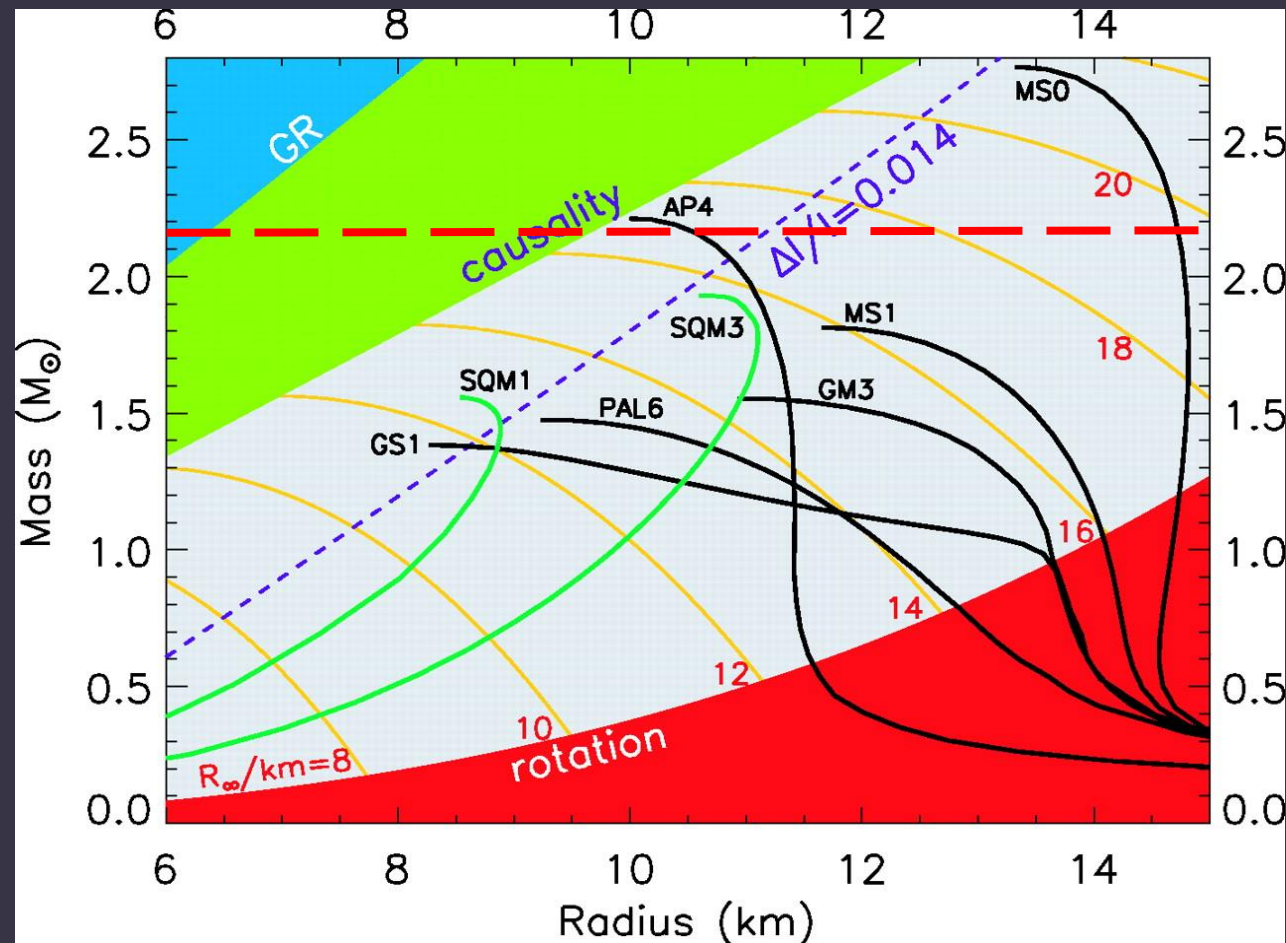
MSP J0740+6620

$2.14^{+0.10}_{-0.09}$  масс Солнца  
Данные NANOGrav+GBT

Миллисекундный пульсар  
с белым карликом.

До этого рекордом было 2.01.

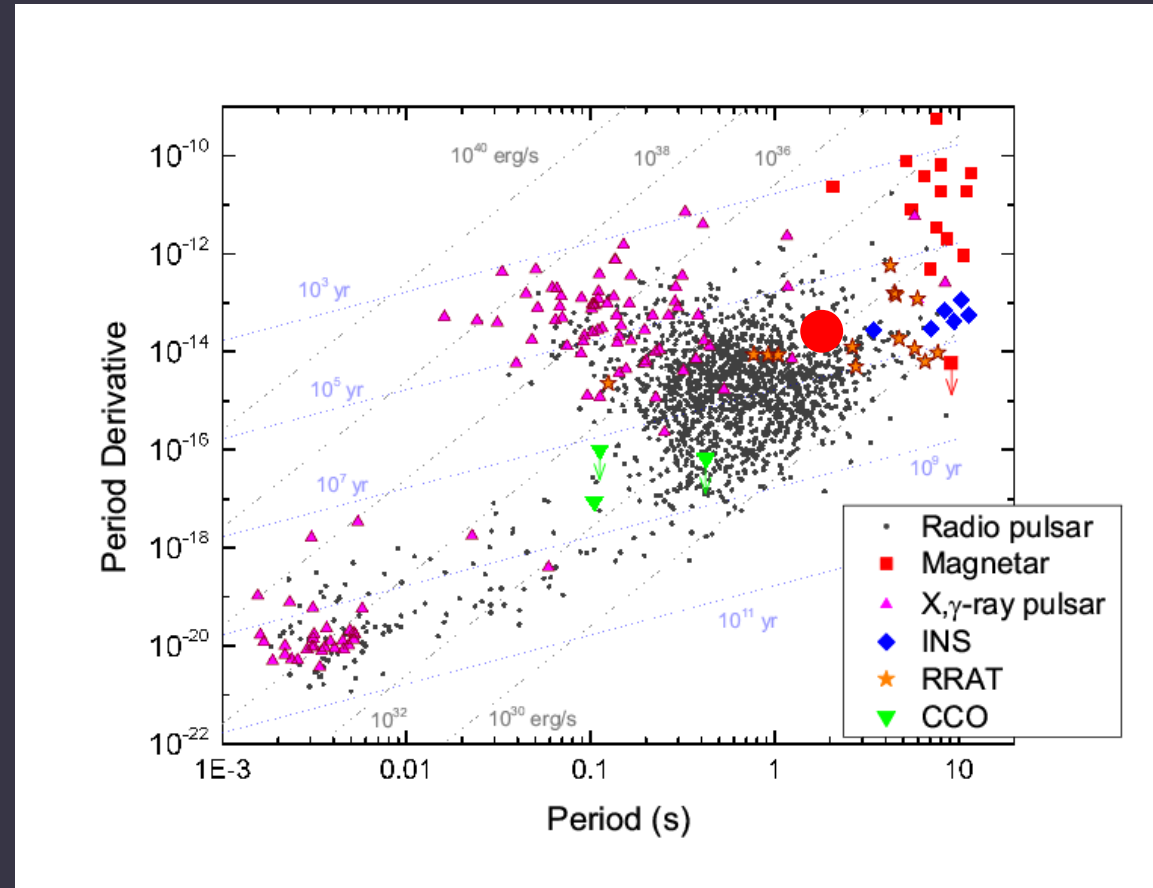
Данные по GW170817  
говорят, что предел  
близок к 2.17.



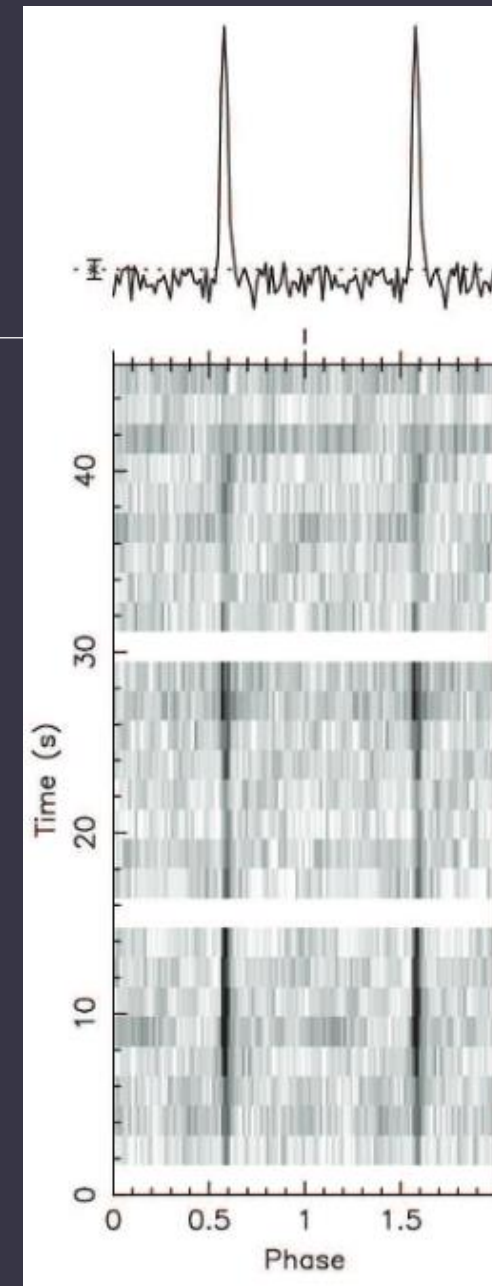
# Первый пульсар FAST

PSR J1900-0134  
Период 1.8 сек.

В ближайшее время  
появятся публикации  
по десяткам новых  
пульсаров, открытых  
на FAST.



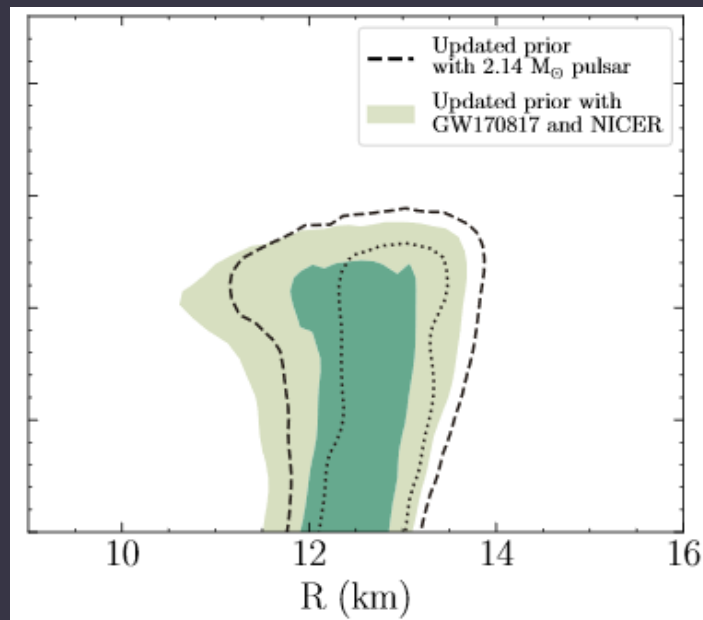
1302.0869



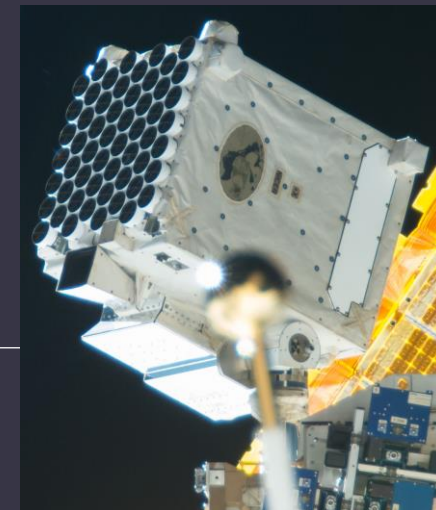
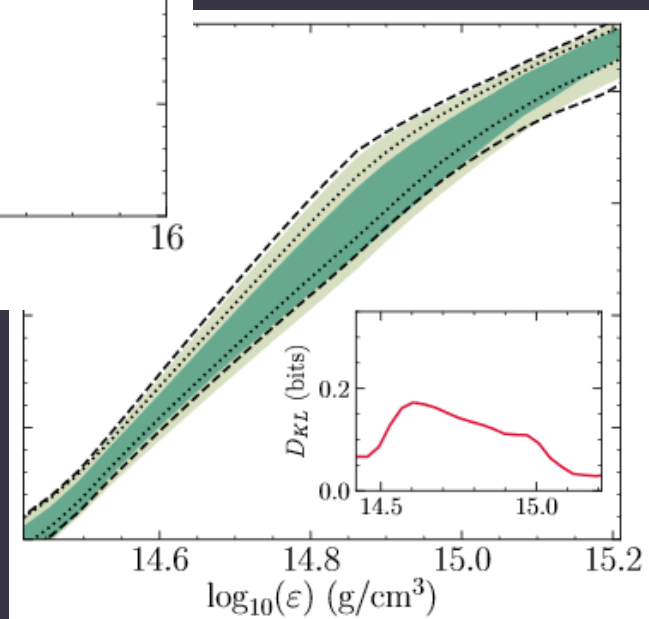
1903.06318

# Надежды на 2020?

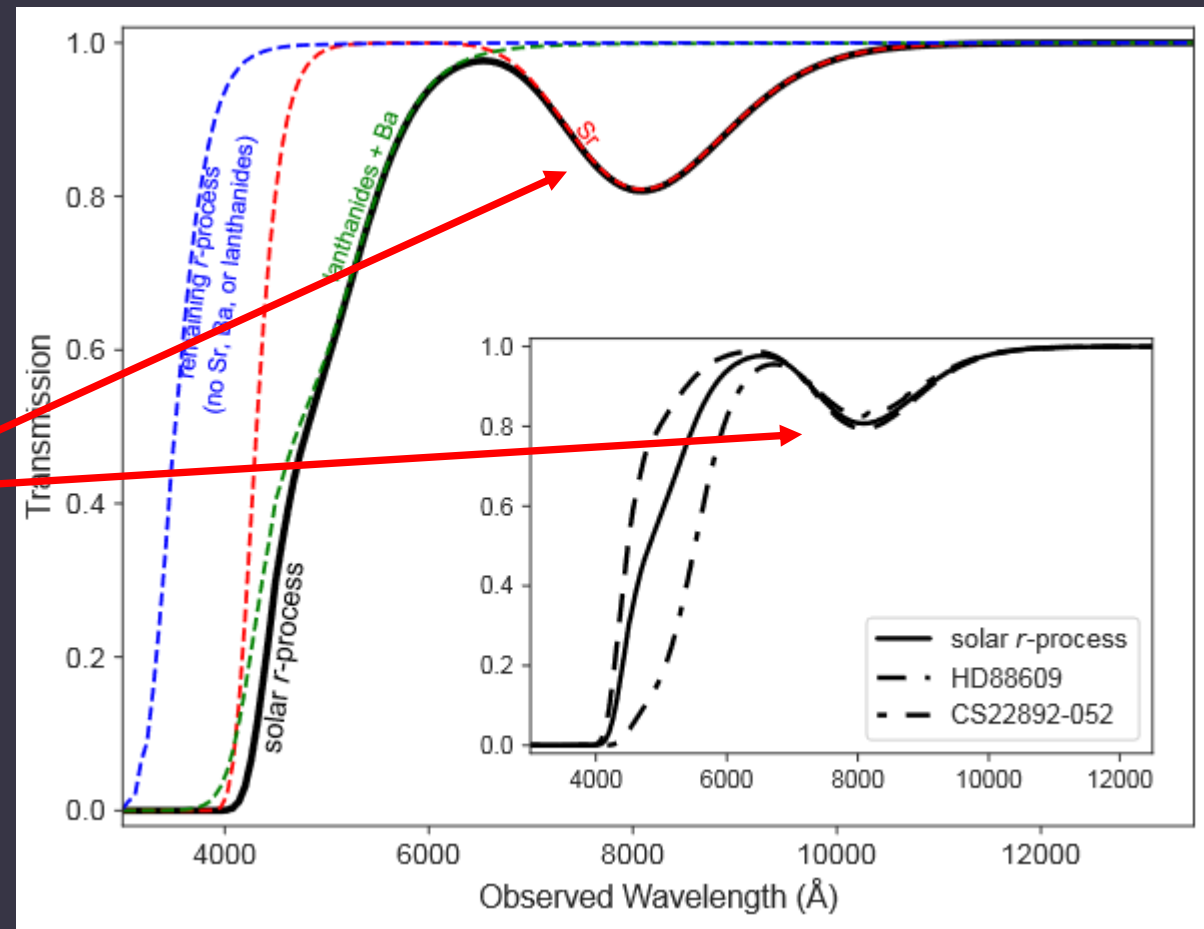
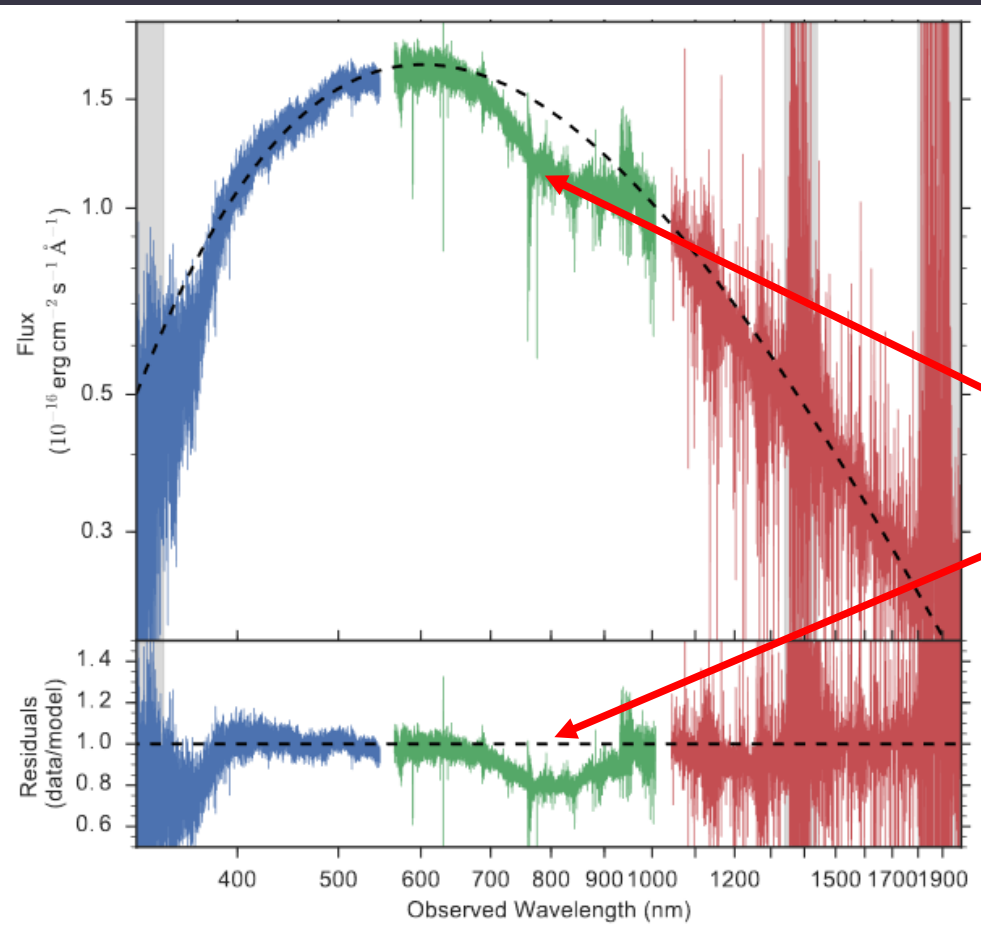
Данные с телескопа NICER на МКС плюс данные с GW-детекторов могут позволить гораздо лучше разобраться во внутреннем устройстве нейтронных звезд.



1912.11031

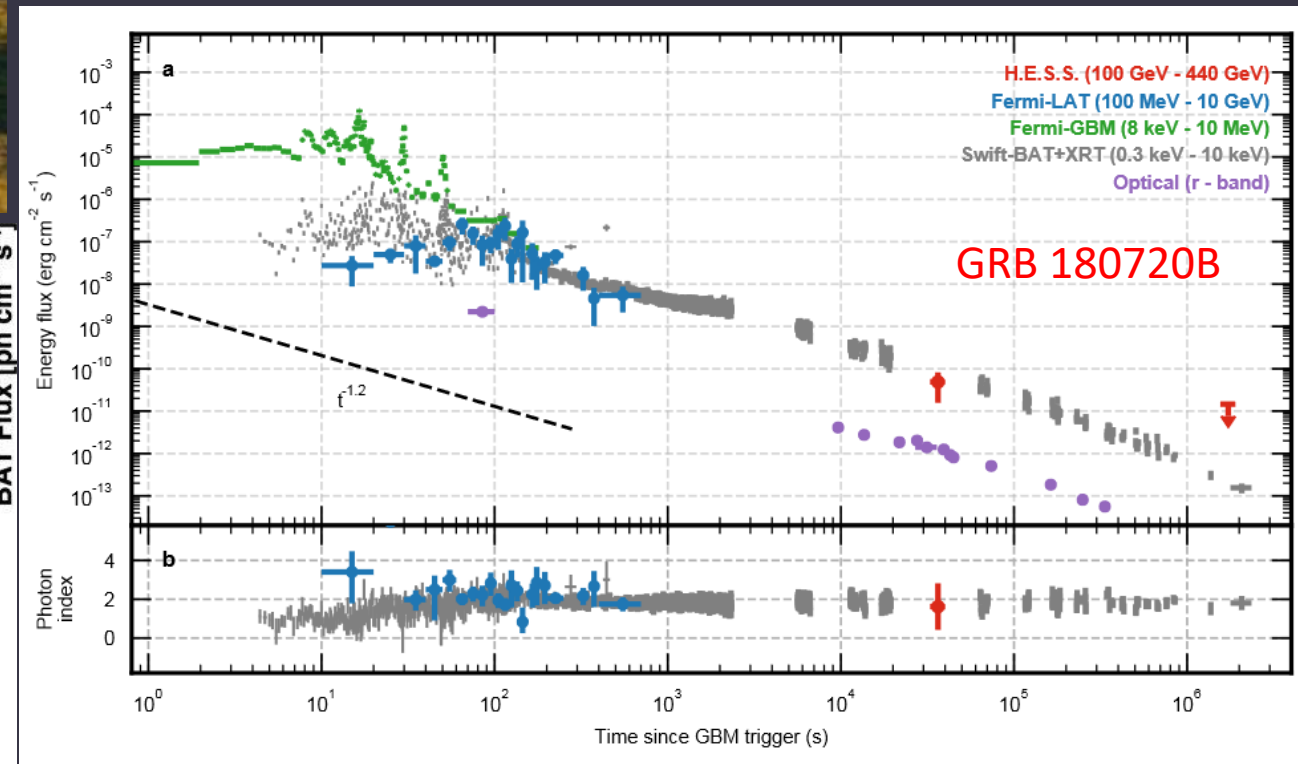
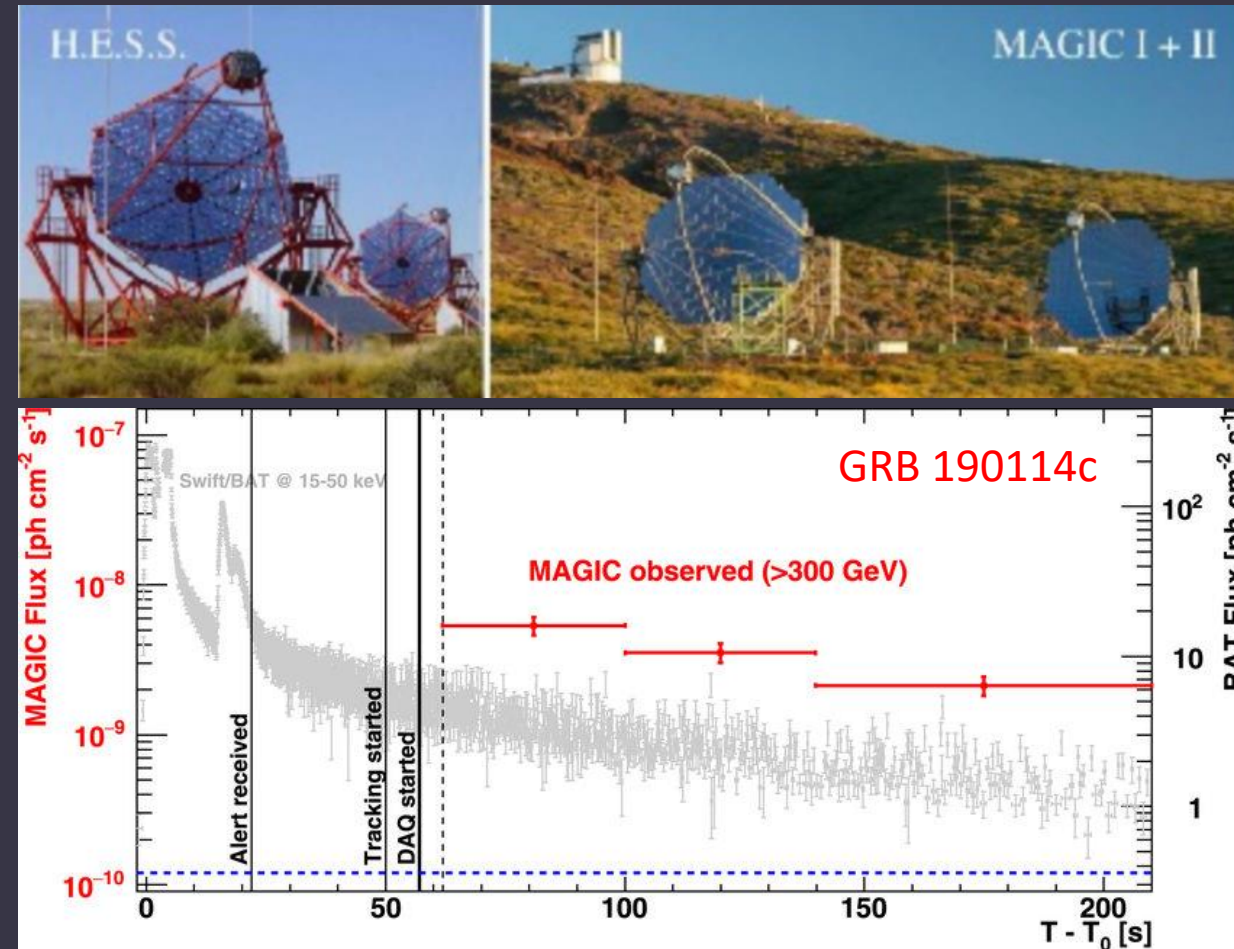


# Стронций в килоновой



# Гамма-всплеск на ТэВах!

Впервые длинный гамма-всплеск удалось зарегистрировать на энергиях  $\sim$  ТэВ (см. общее описание в 1911.09862).

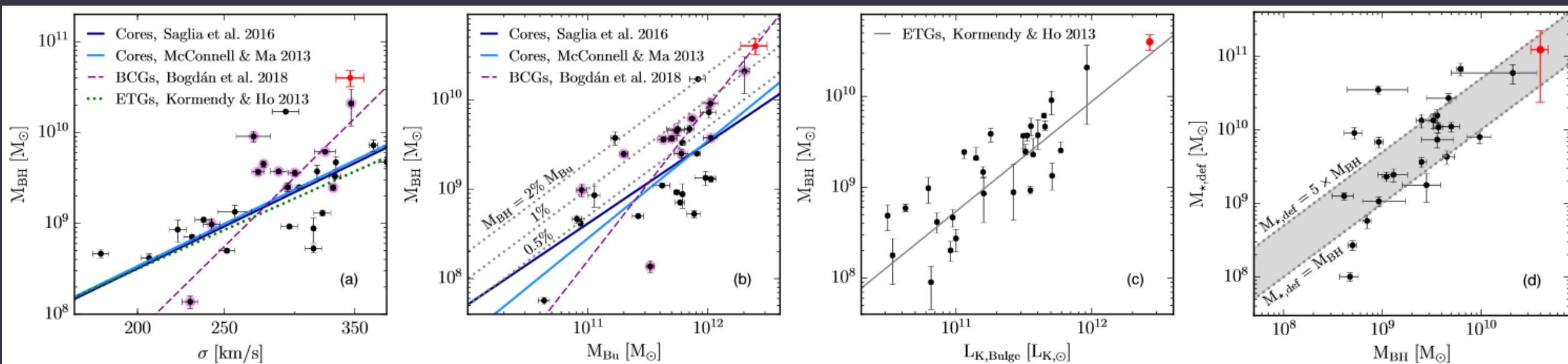


# Рекордно сверхмассивная

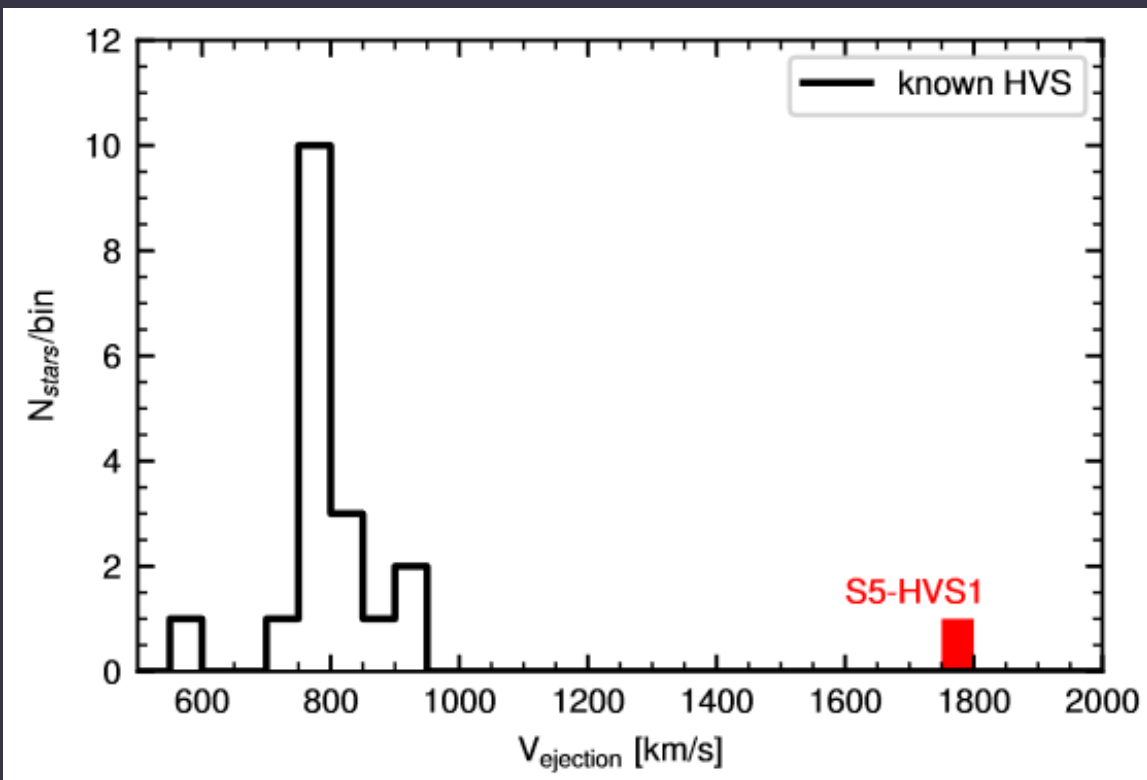
NGC 15A - ярчайшая центральная галактика в скоплении Abell 85.  
Расстояние  $\sim 250$  Мпк.

Параметры укладываются в имеющиеся корреляции.

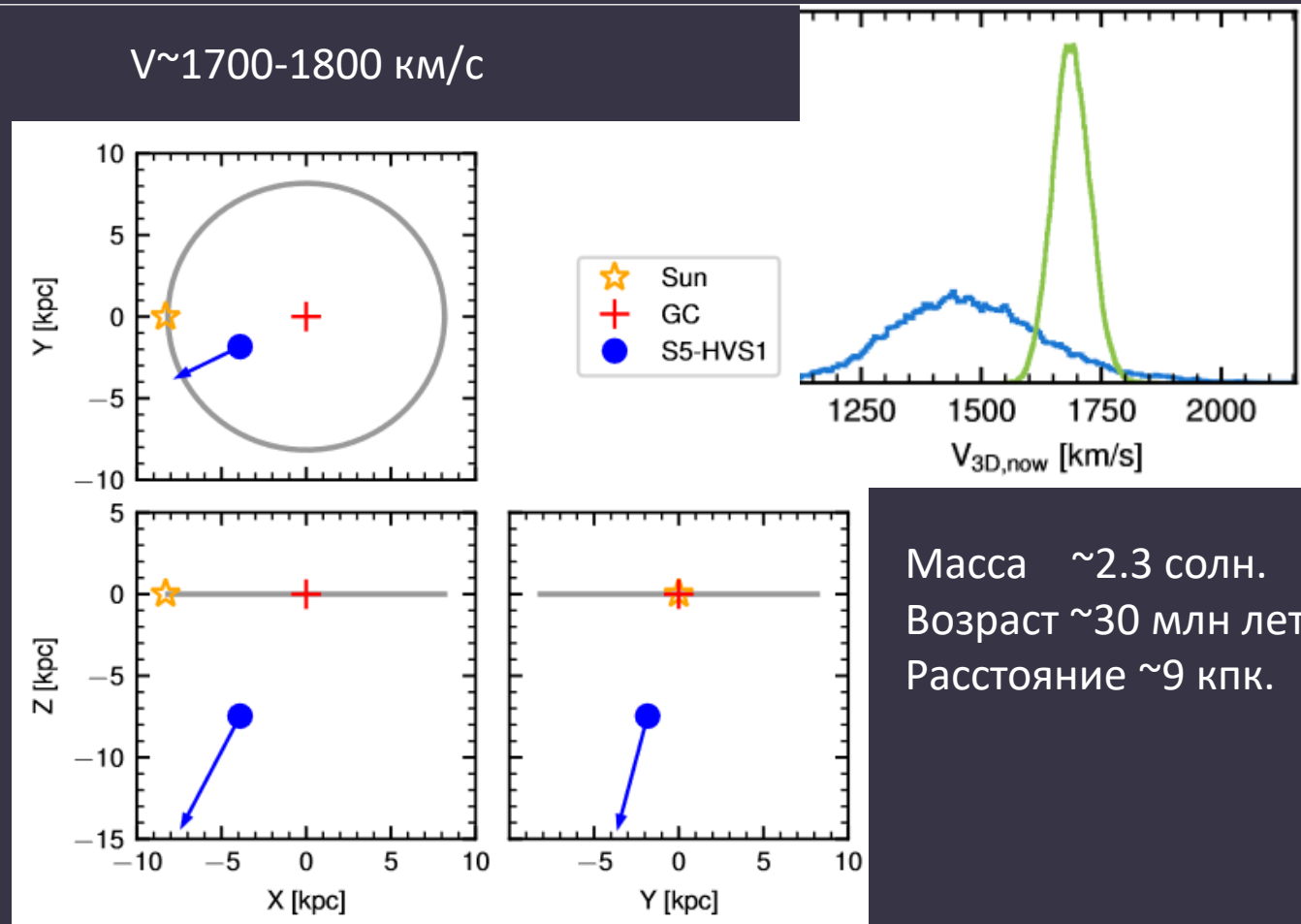
Учитывая, что галактика довольно близкая – больших проблем с формированием такой дыры нет.



# Рекордно быстрая



Нормальная звезда.  
Выброшена из центра Галактики 4-5 млн лет назад.

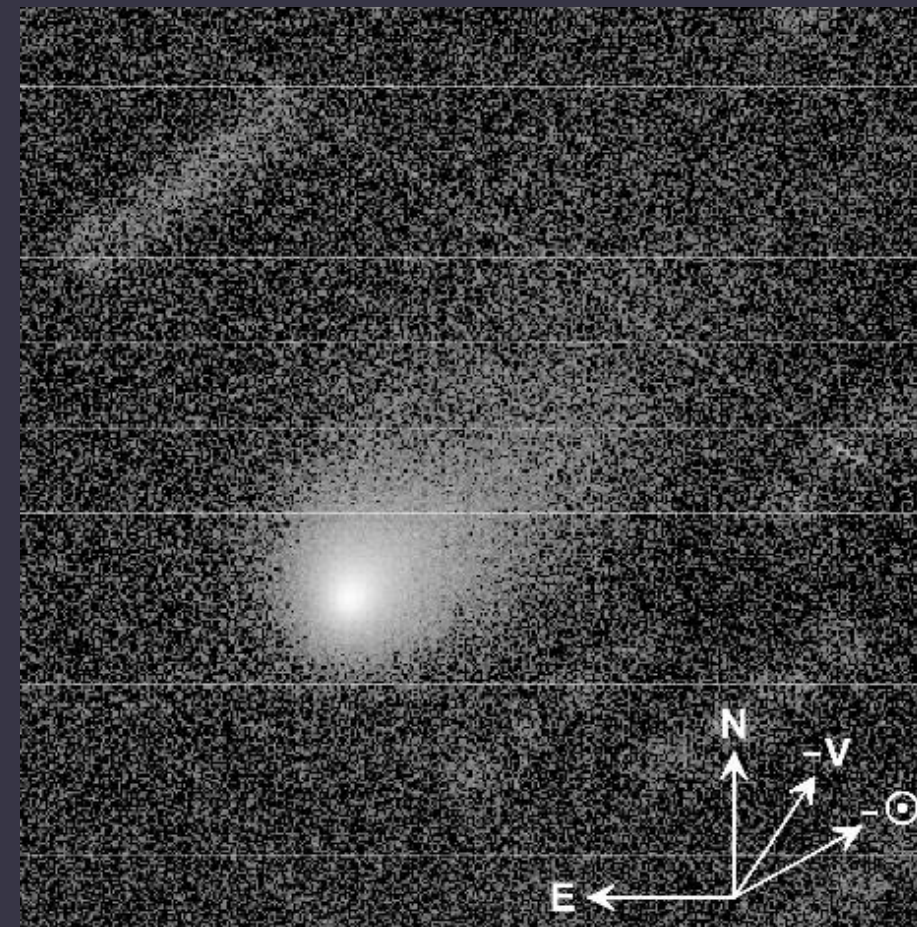
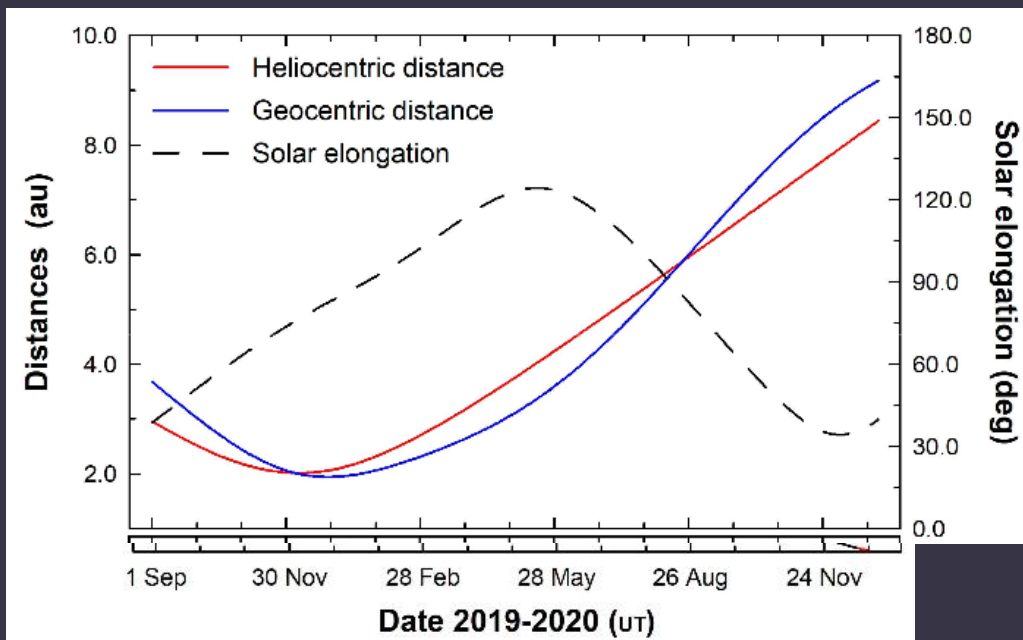




# Первая межзвездная

Открыта Геннадием Борисовым в августе 2019.  
Внешне ничем не отличается от комет Солнечной системы.  
Эксцентриситет = 3.38!!!!

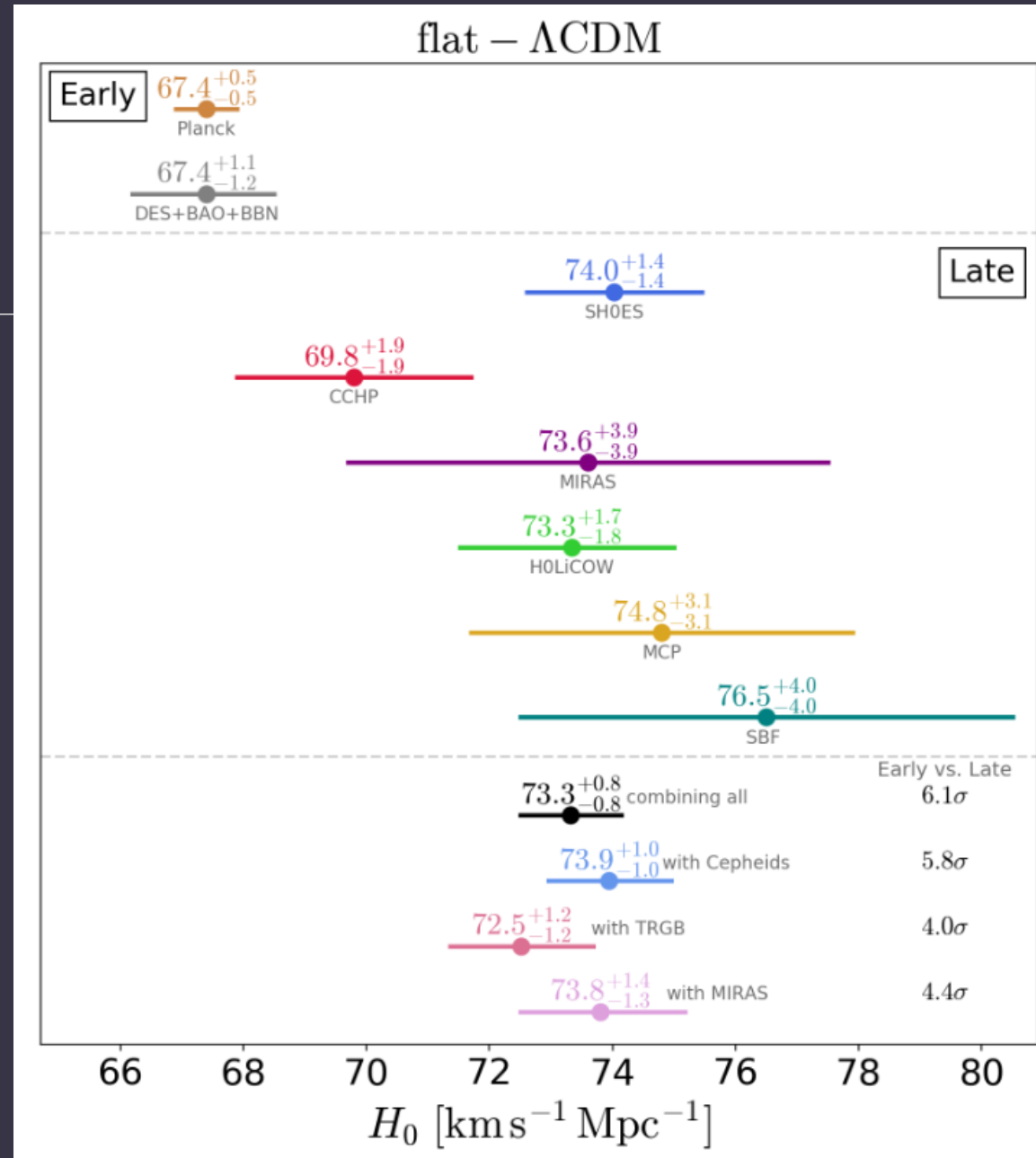
Прошла перигелий (на  $\sim 2$  а.е.) 8 декабря.



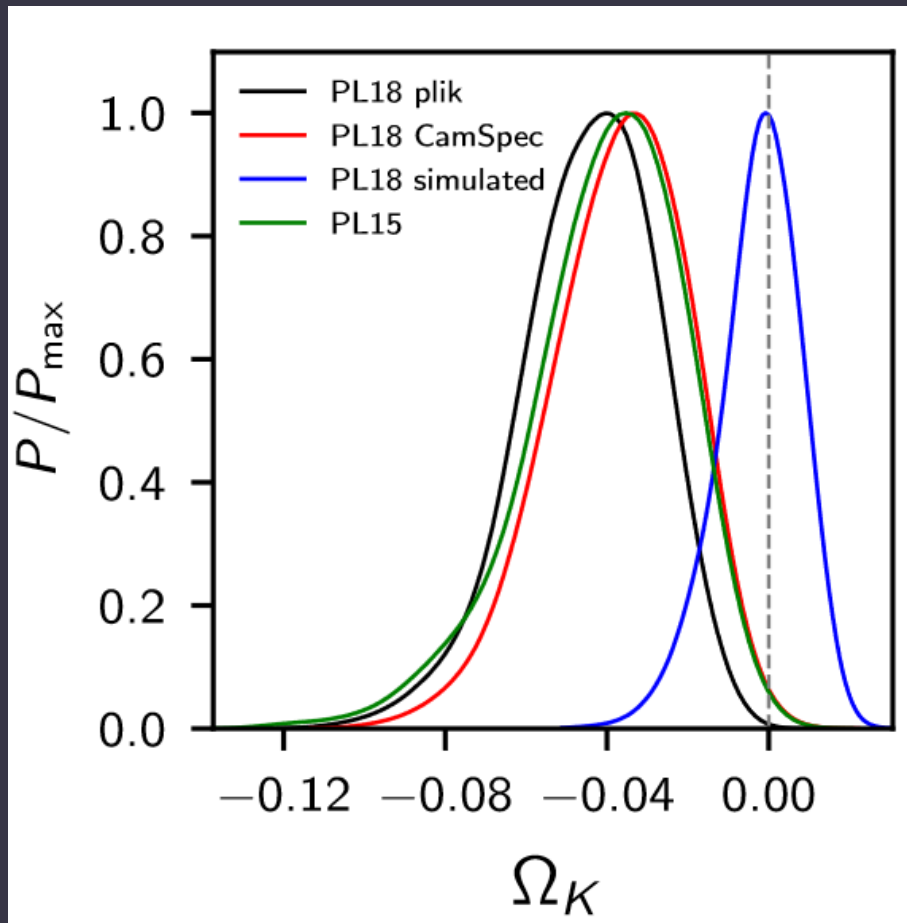
# Дискуссия года?

Дают ли данные наблюдений основания для поисков уточнений стандартной космологической модели?

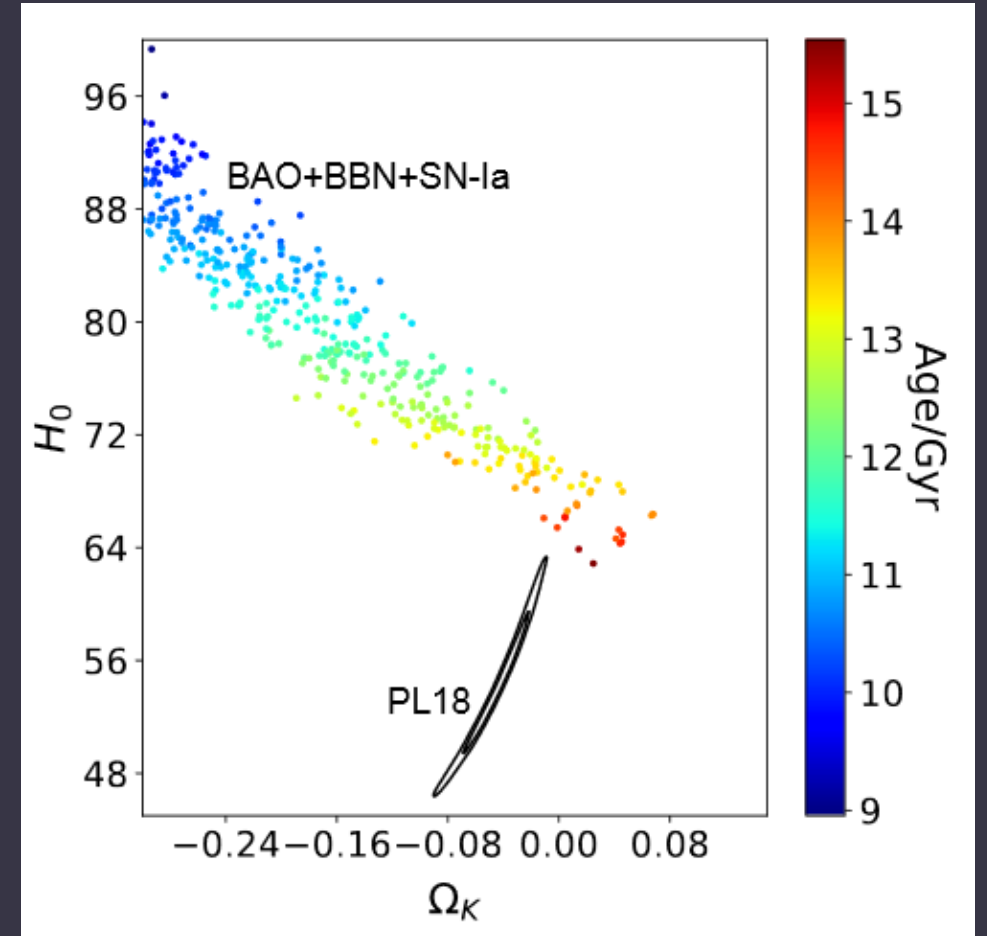
Наблюдения относительно близких (по космологическим меркам,  $z < 1$ ) объектов дают значение современной постоянной Хаббла, отличающееся от того, что дают методы исследования далеких источников и структур.



# Вдобавок: а плоская ли у нас вселенная?

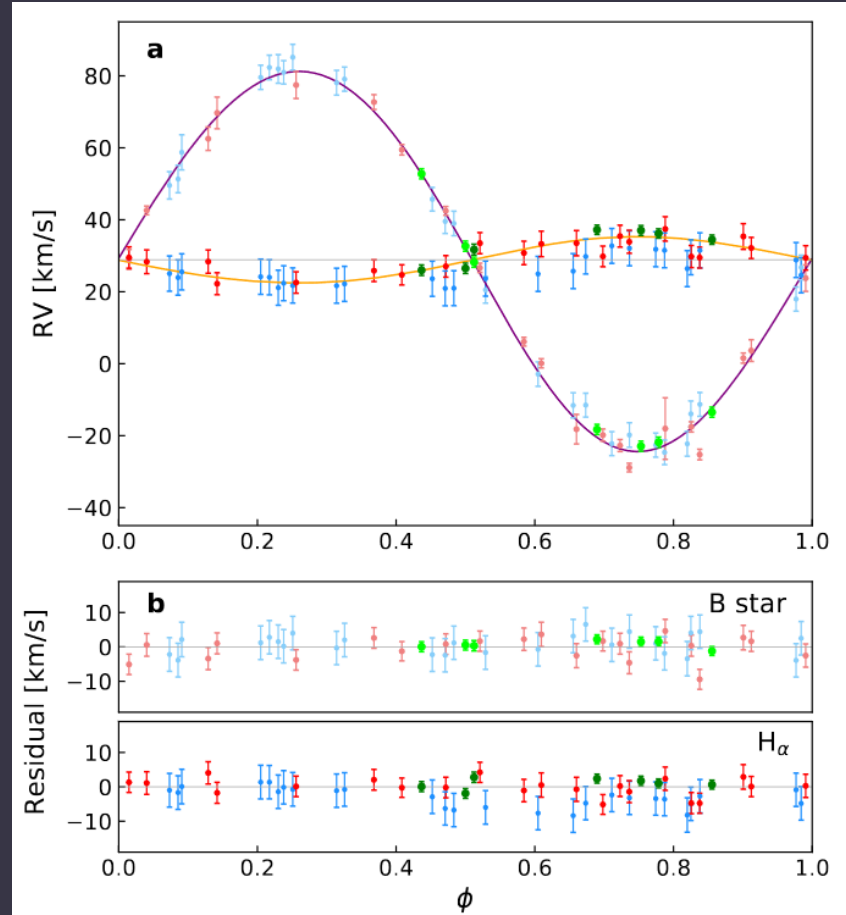


Данные Планка, по мнению авторов, хорошо описываются в модели замкнутой вселенной  $\Omega_k \sim -0.045$ . Однако это находится в противоречии с другими данными.



# Дискуссия о черной дыре

Двойная система с В-звездой.  
Орбитальный период  $\sim 80$  дней.  
Авторы оценили массу черной дыры: 55-80 масс Солнца.  
Наблюдения на LAMOST, а затем на GTC и Кеск.  
Звезда нормальной металличности.

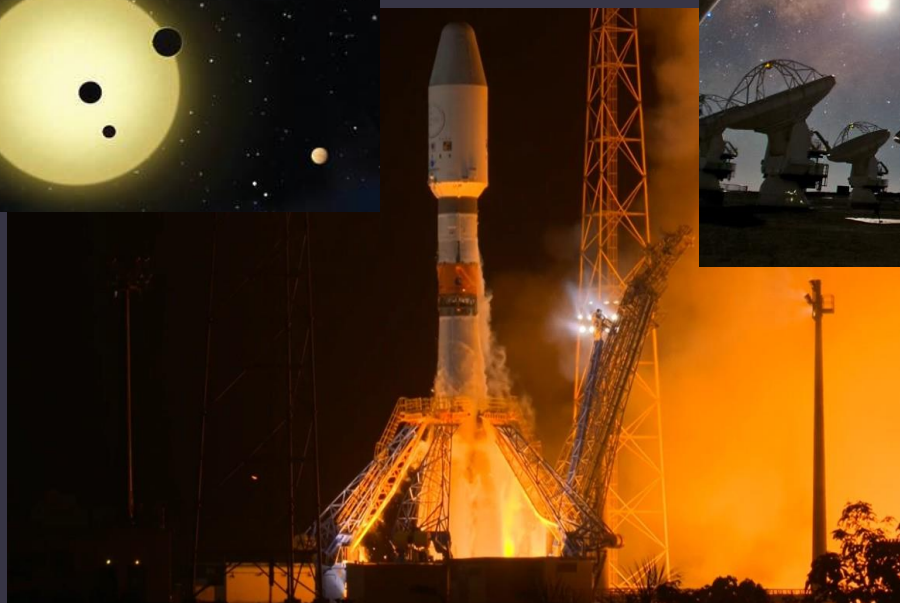


С одной стороны, сразу же стали появляться работы, в которых авторы пытались дать интерпретацию полученным данным ([1911.12357](#)). С другой, результат сразу же подвергся серьезной критике ([1912.04185](#)). Вполне возможно, что оценка массы черной дыры завышена.

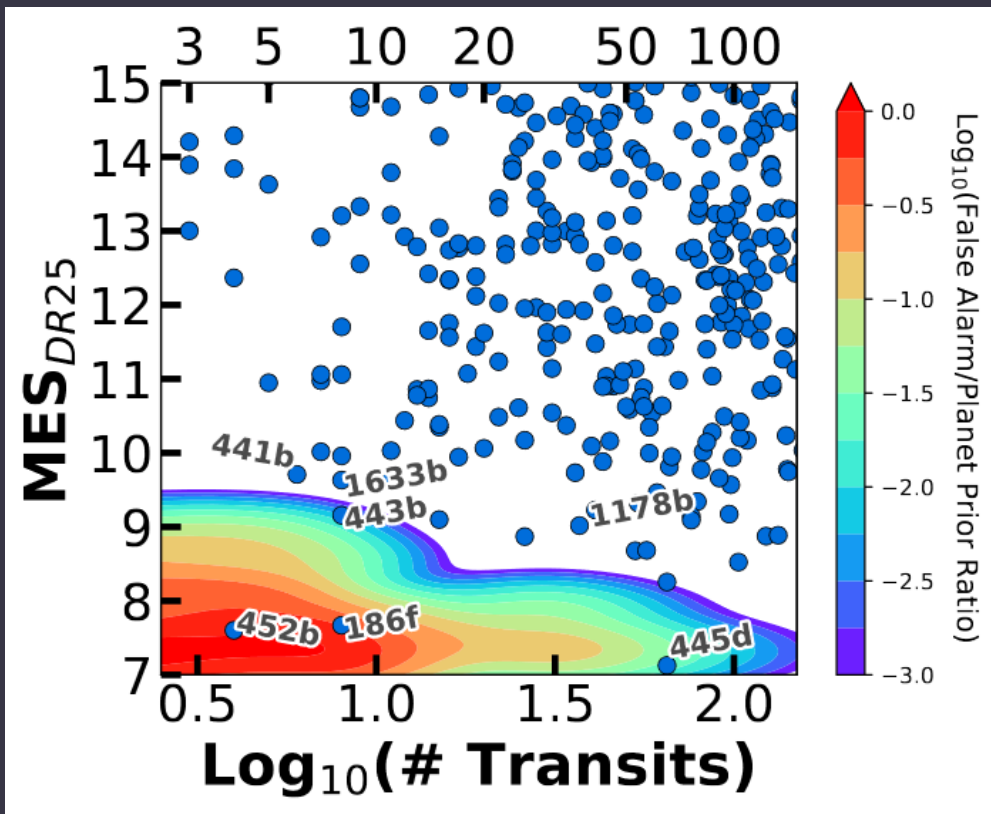
Пока же анализ показывает, что создать подобную систему с черной дырой с массой  $\sim 70$  масс Солнца крайне сложно.

# Экзопланеты

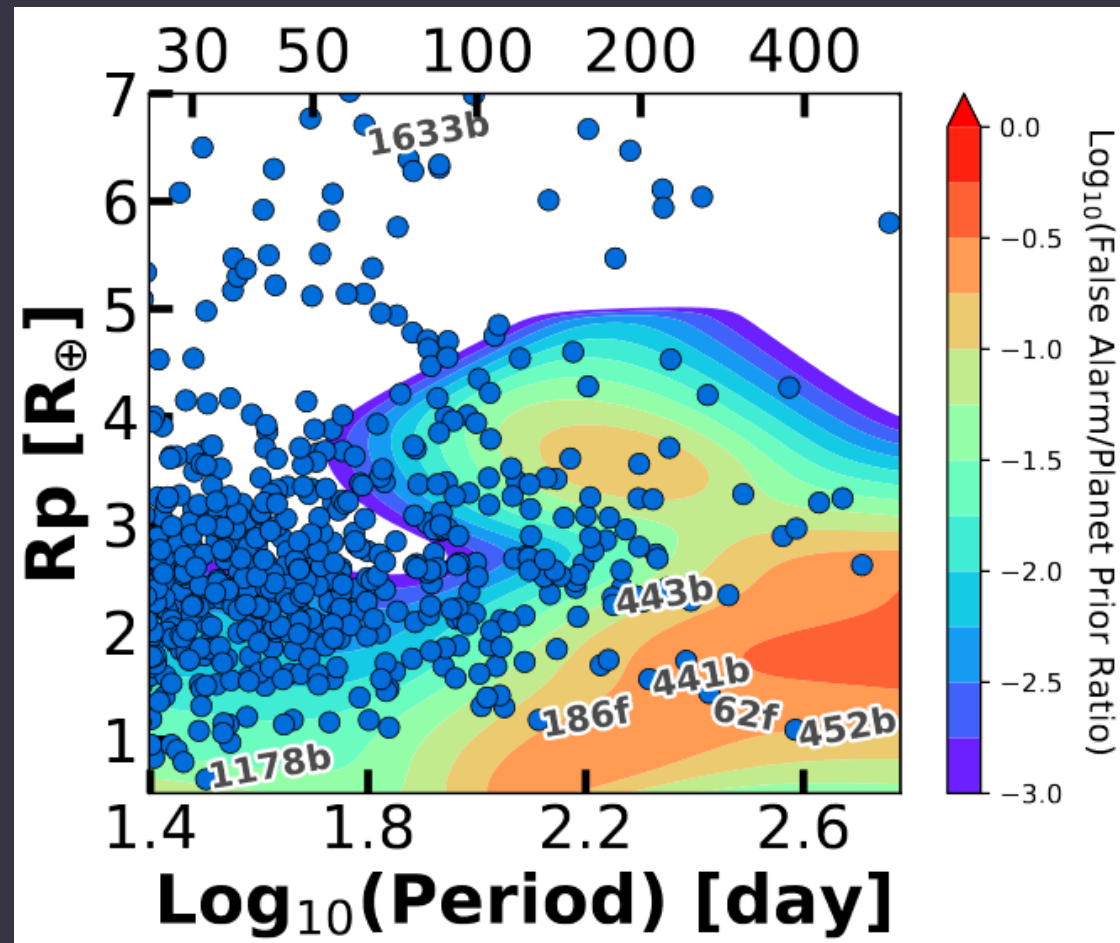
---



# Пересмотр самых интересных планет



MES (Multiple Event Statistic) represents the SNR for detection in the Kepler pipe line.



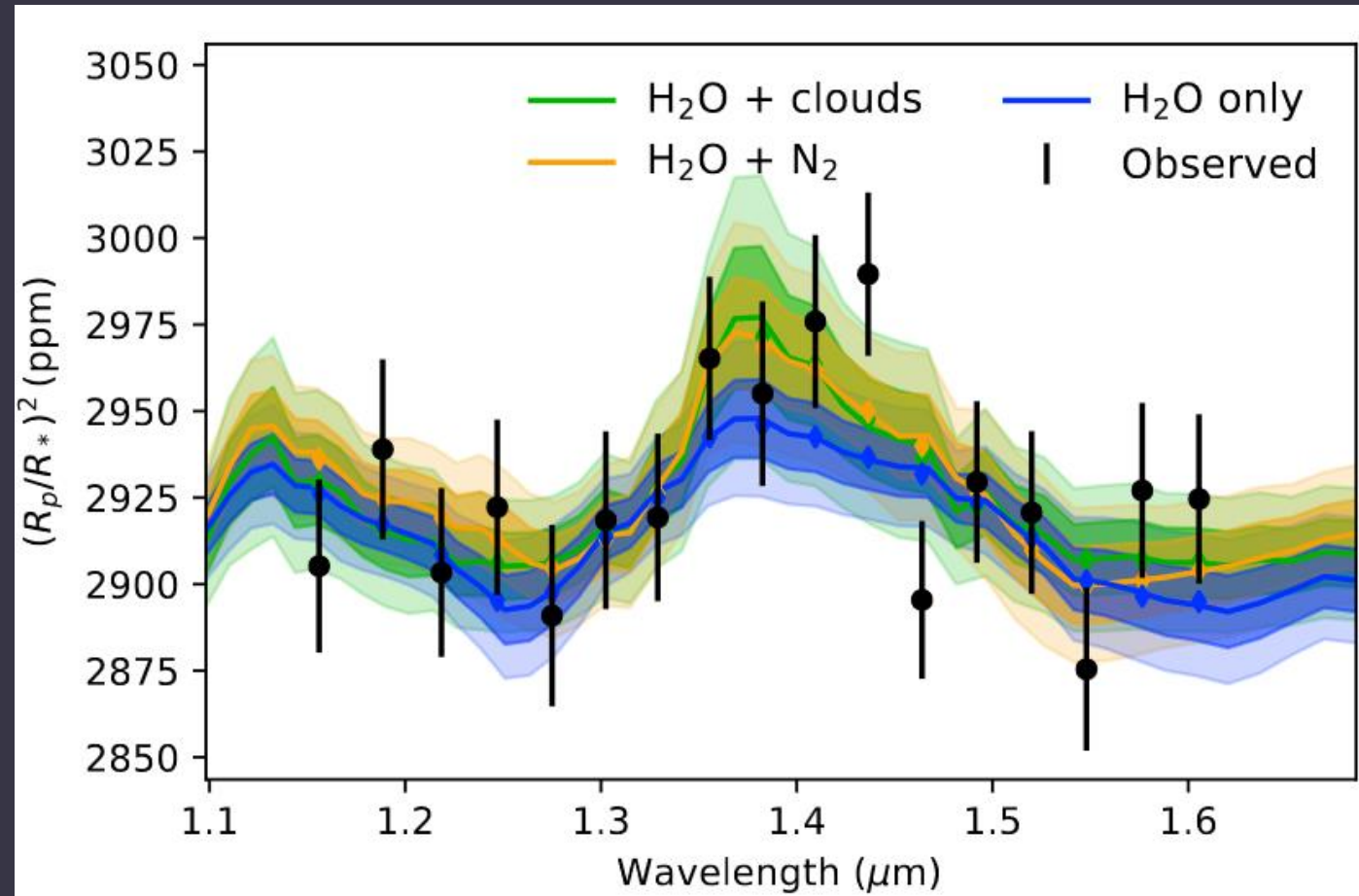
# Водяной пар в атмосфере сверхземли

K2-18b, масса 8 земных, радиус 2.3 земных.  
Находится в зоне обитаемости ( $\sim 0.2$  а.е.)  
у красного карлика ( $\sim 0.36 M_{\text{sun}}$ ).  
Орбитальный период  $\sim 33$  дня.  
34 парсека от Земли.  
Наблюдения восьми транзитов на Хаббле.

В целом, параметры атмосферы понятны плохо,  
но водяной пар в заметных количествах  
должен быть во всех рассмотренных моделях.

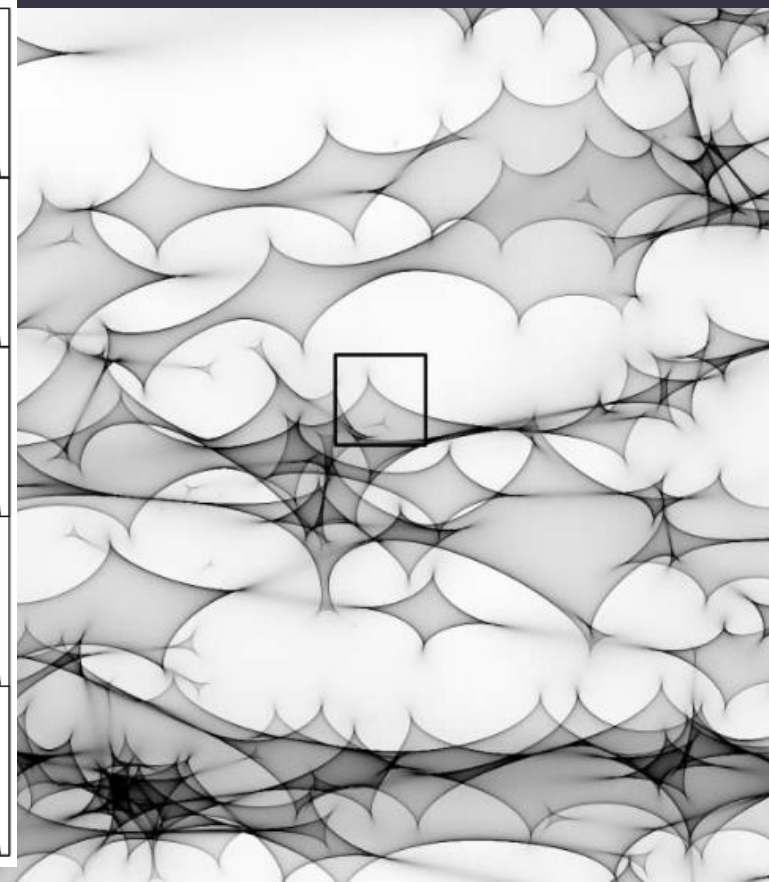
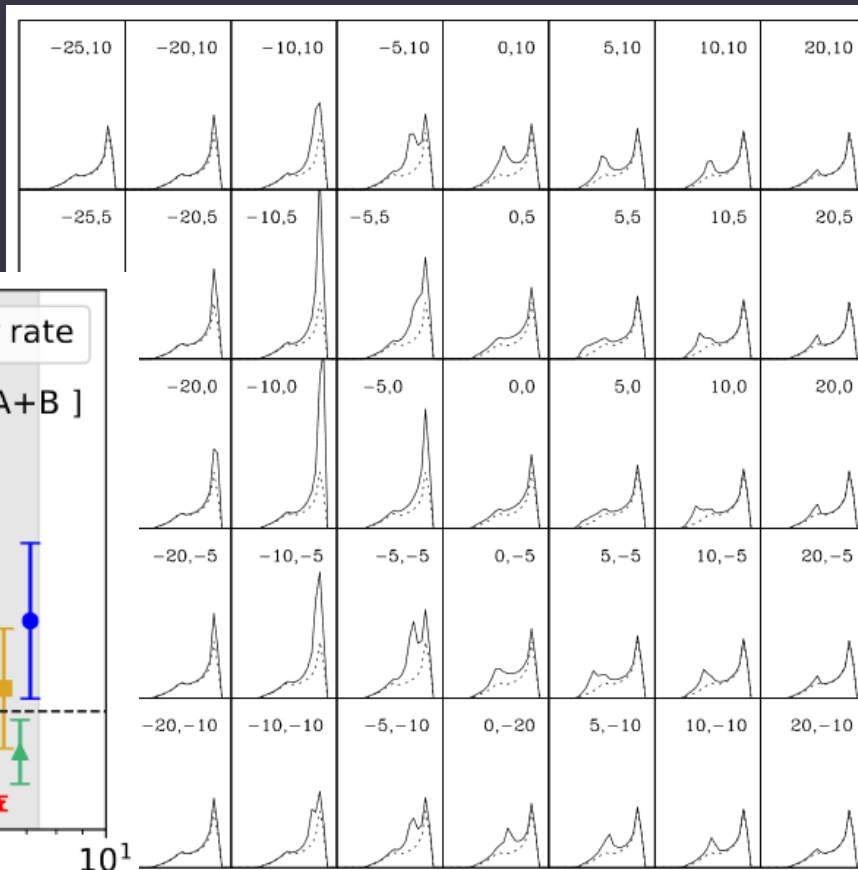
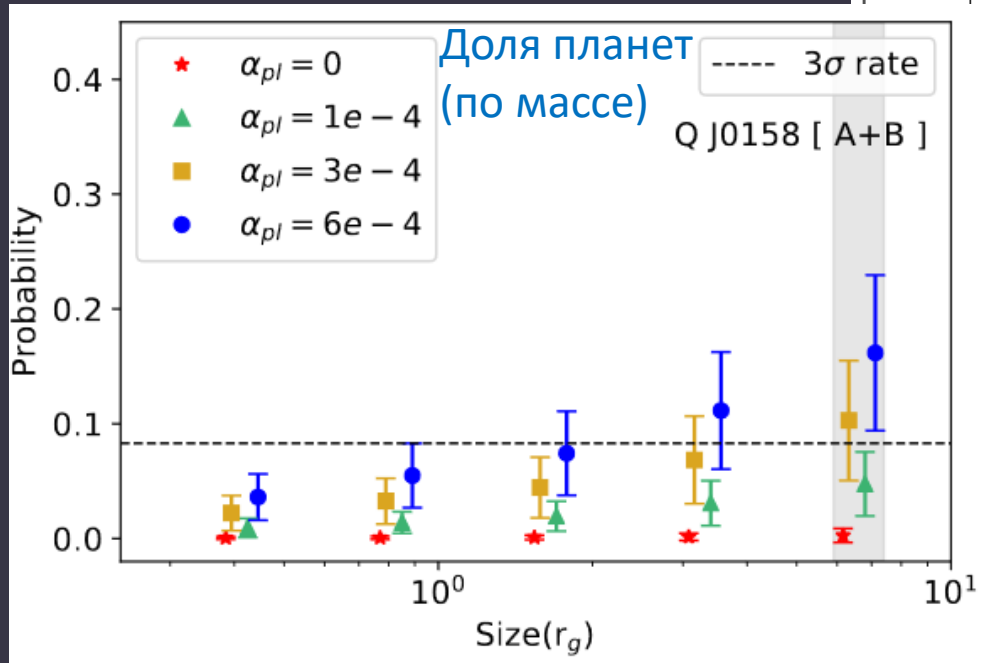
Скорее всего, в атмосфере также  
много водорода.

Первая сверхземля в зоне обитаемости  
с надежно обнаруженной атмосферой.



# Планеты в других галактиках

Рентгеновские наблюдения!  
 Микролинзирование и линия железа.  
 Речь идет об одиночных планетах  
 (free floating planets).





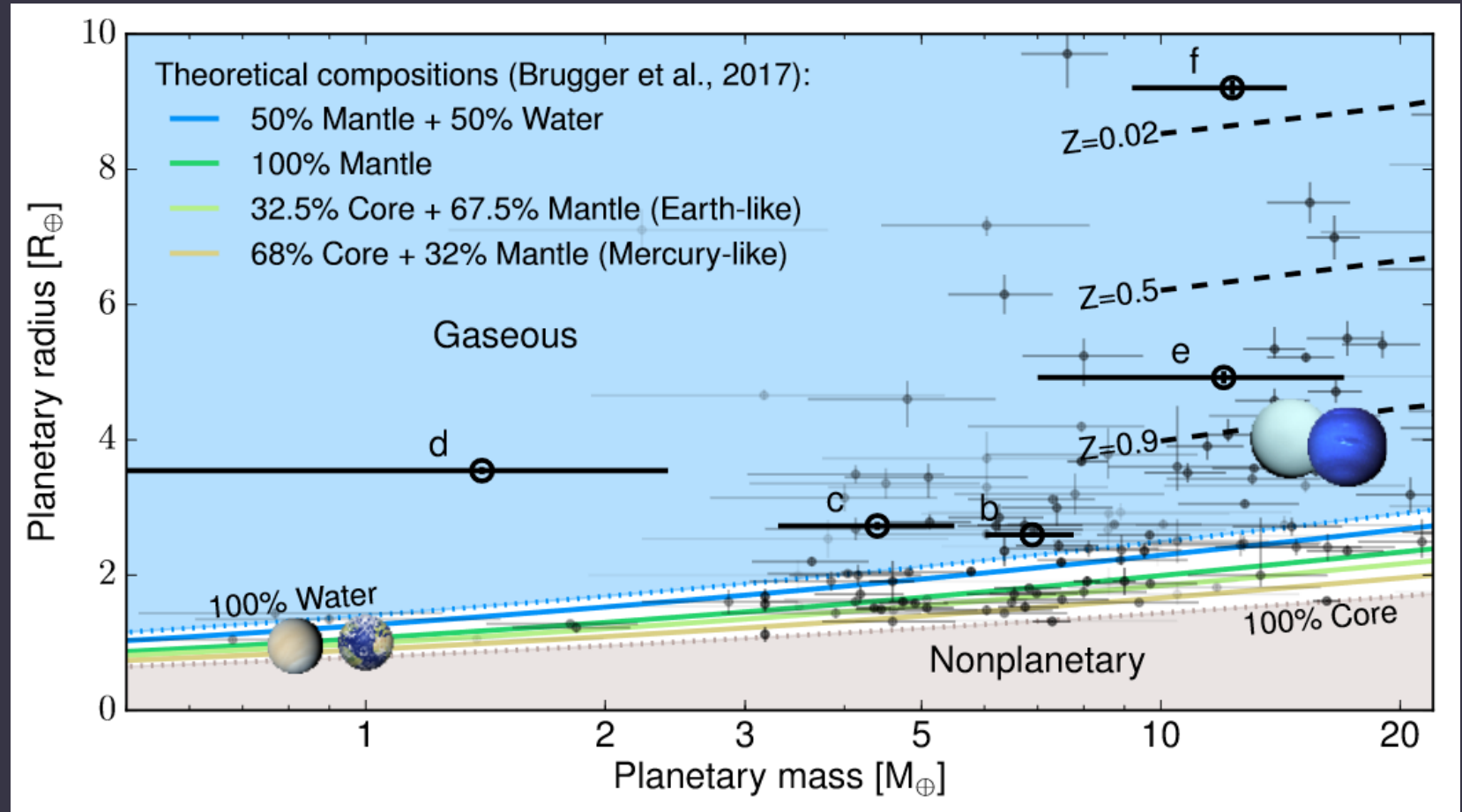
# Низкая температура и плотность

Планеты системы HIP41378 открыты в рамках миссии K2. Затем наблюдались и с помощью HARPS.

Планета f при массе 10-15 земных имеет радиус 9 радиусов Земли. Это дает плотность  $\sim 0.1 \text{ г/см}^3$

Система старая (>3 млрд лет), планета – холодная (<300 К).

Одно из объяснений: мы видим не диск, а кольцо. Это можно будет проверить.



# Самый короткий год (для горячего юпитера)!

Next Generation Transit Survey (NGTS).

NGTS-10b.

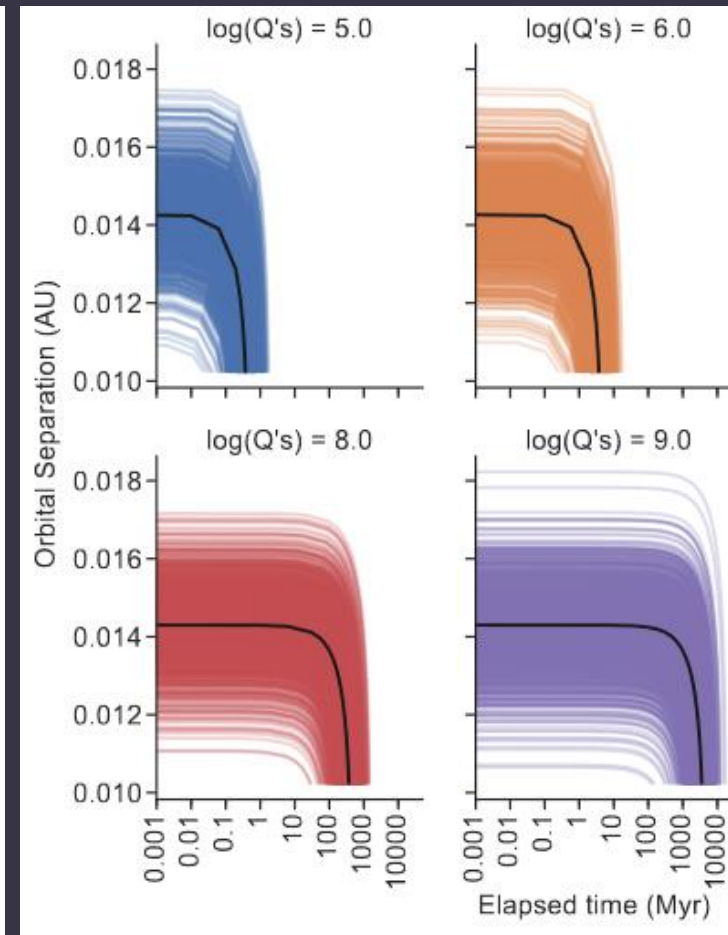
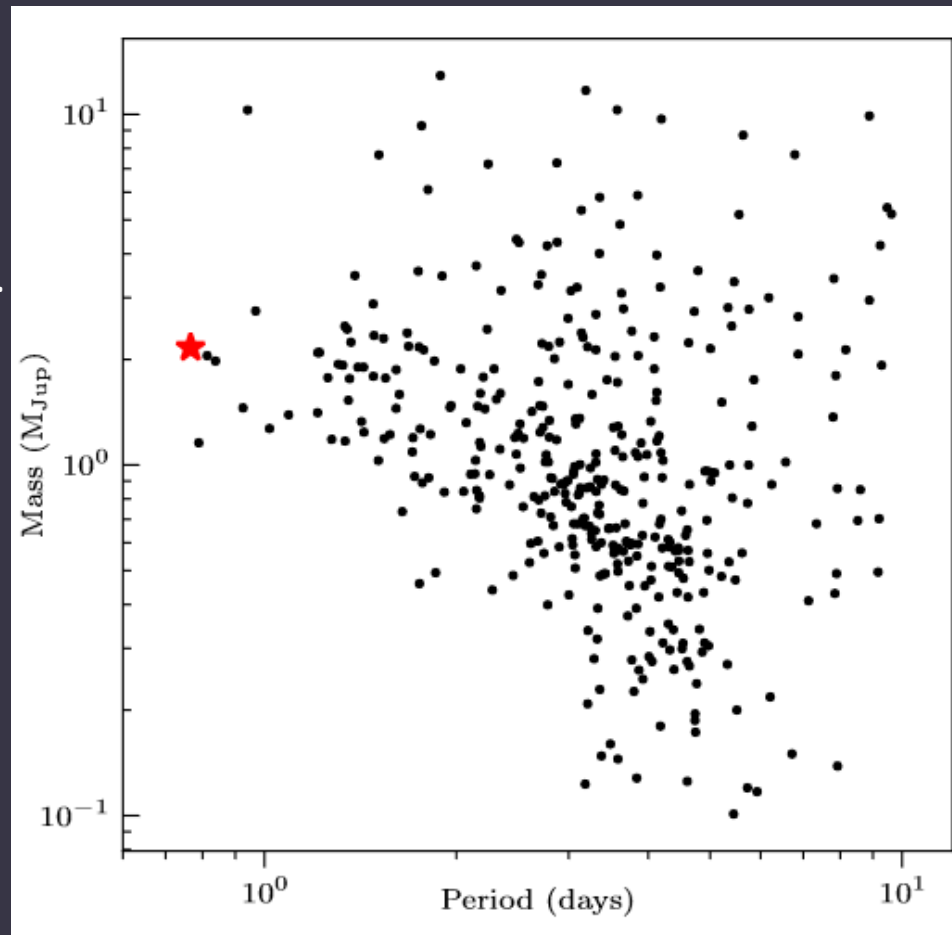
Наблюдения на HARPS.

Масса 2.2 и радиус 1.2 юпитерианских.

Год длится 18.4 часа! 0.014 а.е.

Важно для изучения приливов.

Планета сольется со звездой.



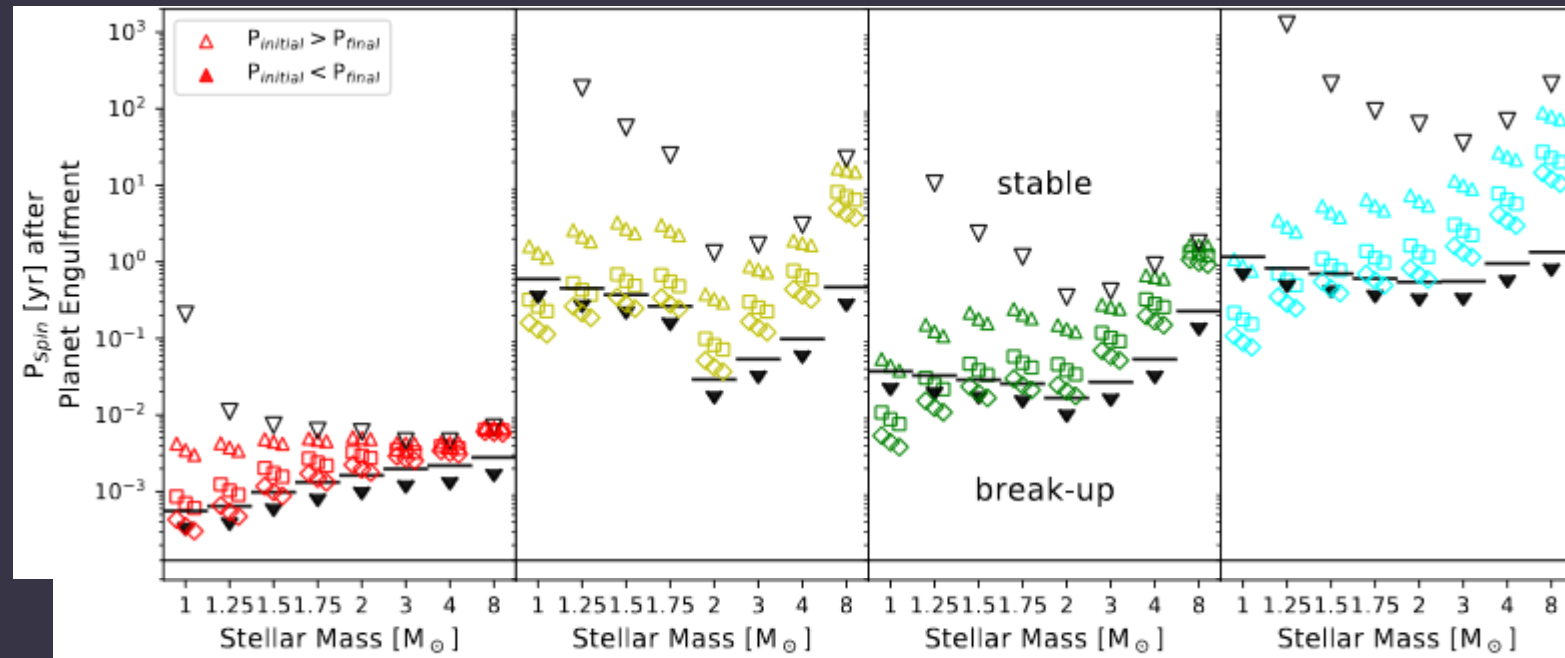
# Слияние планет со звездами

Примерно раз в сто лет в галактике происходят слияния звезд со звездами Главной последовательности. А с гигантами - 2-3 раза в год (1909.10810).

Показано, как планеты разной массы (1, 5, 10 масс Юпитера) раскручивают звезды на разных эволюционных стадиях. Видно, что раскрутка может быть настолько сильна, что звезда начнет терять вещество.

Эффекты:

1. Раскрутка звезды
2. Изменением химсостава
3. Вспышки
4. Выбросы вещества (V Нуа)



# Гигант у карлика: откуда взялся?

GJ 3512

Открыта в проекте CARMENES.

Измерение вариации лучевой скорости.

Орбитальный период 204 дня.

Большой эксцентриситет (0.44).

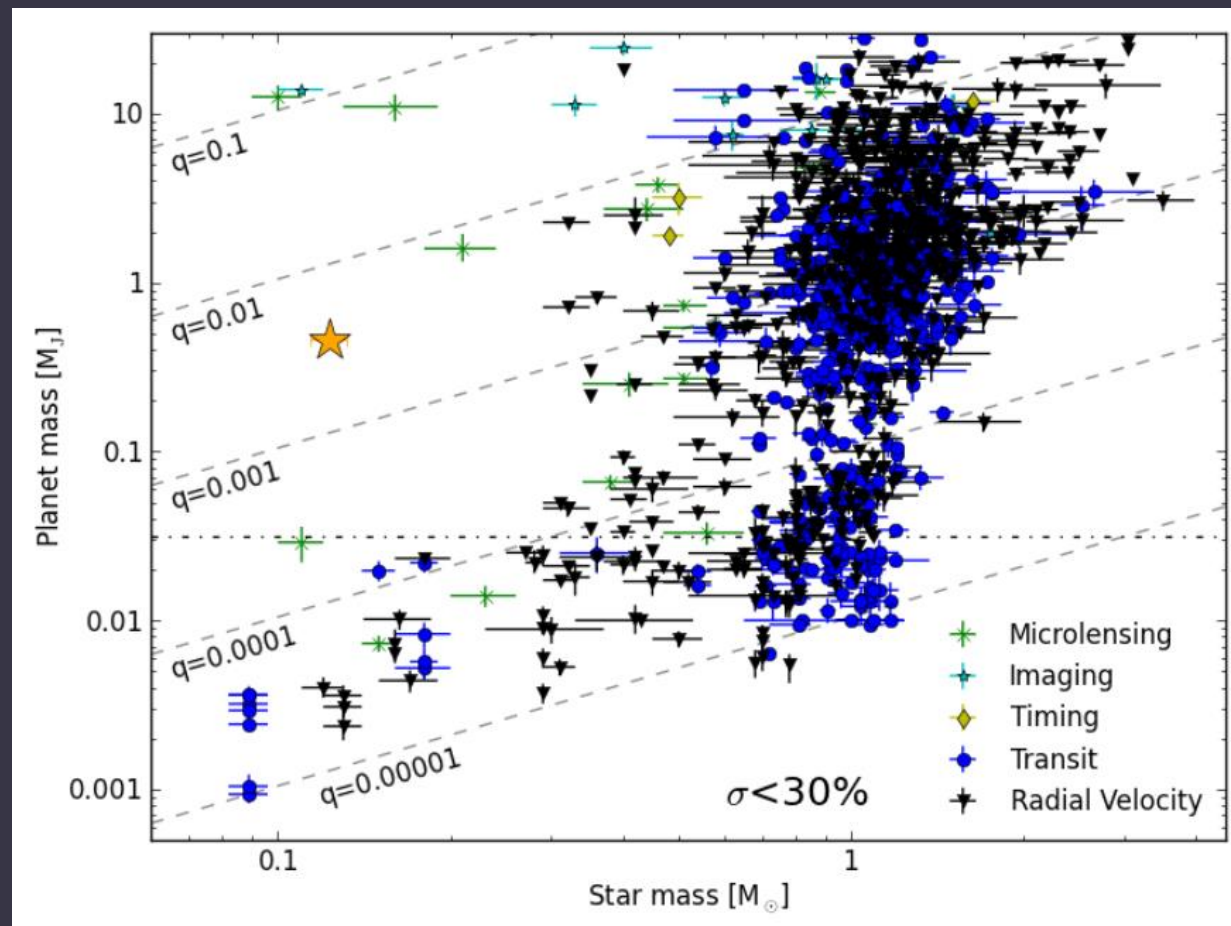
Масса  $>0.45$  масс Юпитера.

Звезда - красный карлик, 0.12 масс Солнца.

Есть указания на вторую (внешнюю) планету.

По всей видимости, планета образовалась в результате неустойчивости во внешней части протопланетного диска.

Но и тут есть проблемы (нужен массивный диск).

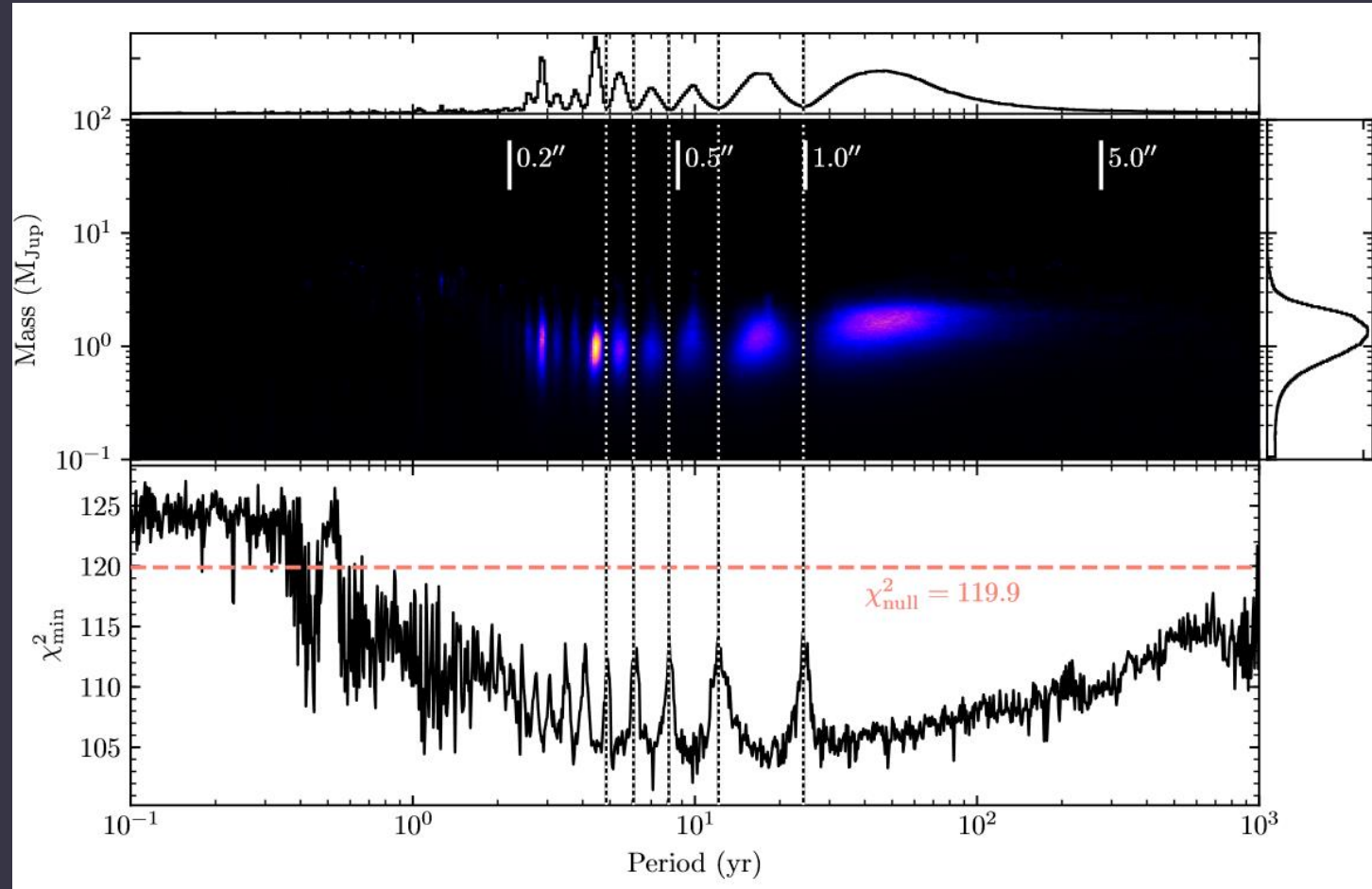


# Астрометрия дает планету?

Причем, это не Gaia, хотя без нее и не обошлось.

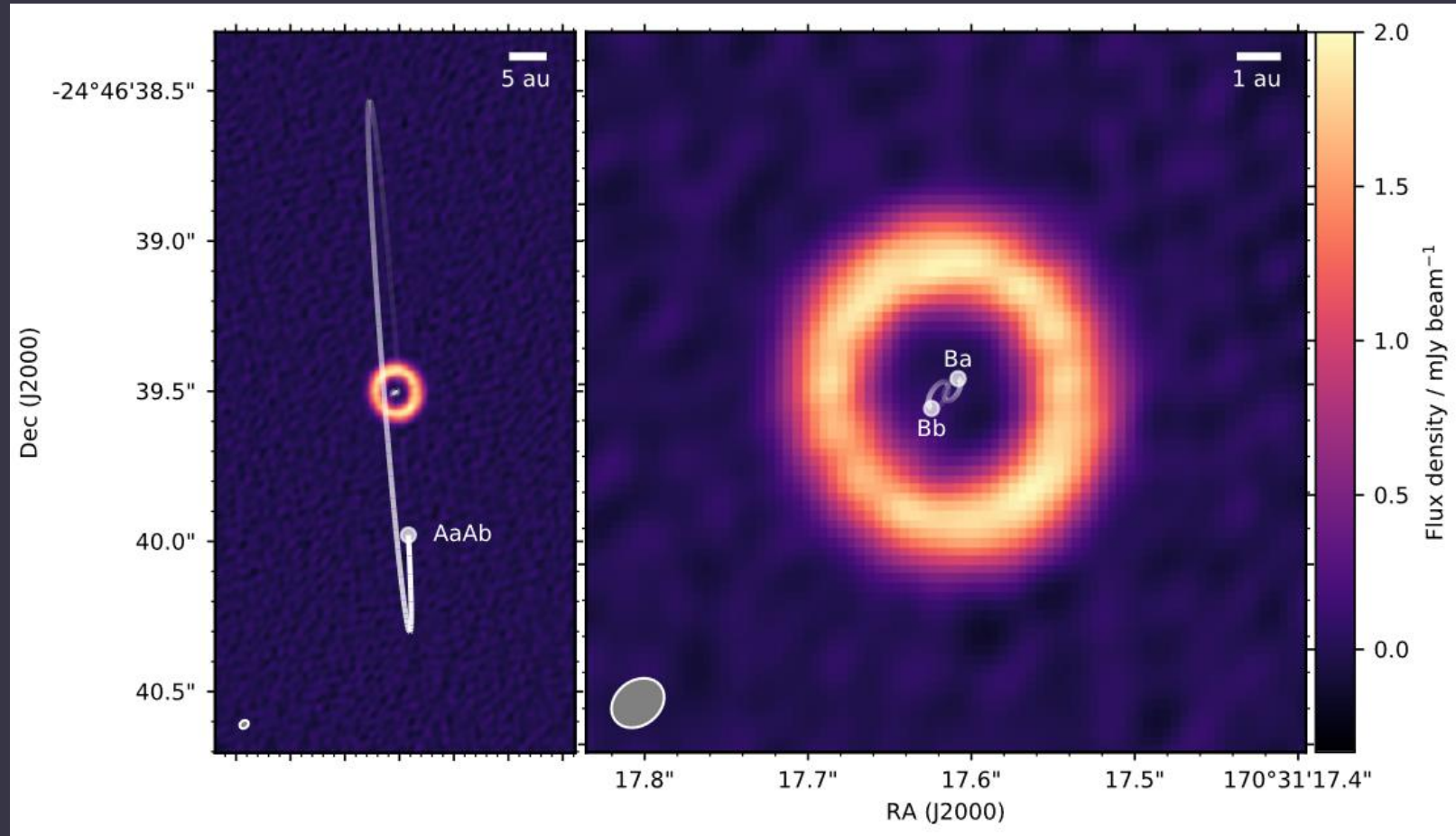
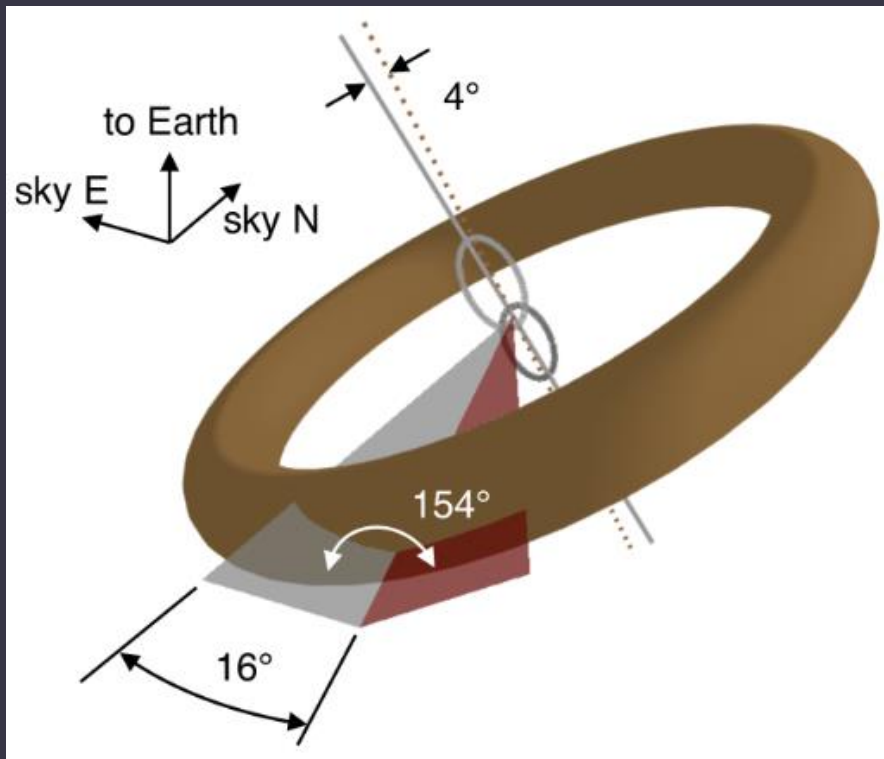
Сложная методика многочисленных наблюдений на разных инструментах свидетельствует о наличии планеты с массой 1-2 массы Юпитера у компаньона Фомальгаута звезды TW Юж. Рыб.

На прямых изображениях и по радиальной скорости ничего не видно.



# Полярный диск

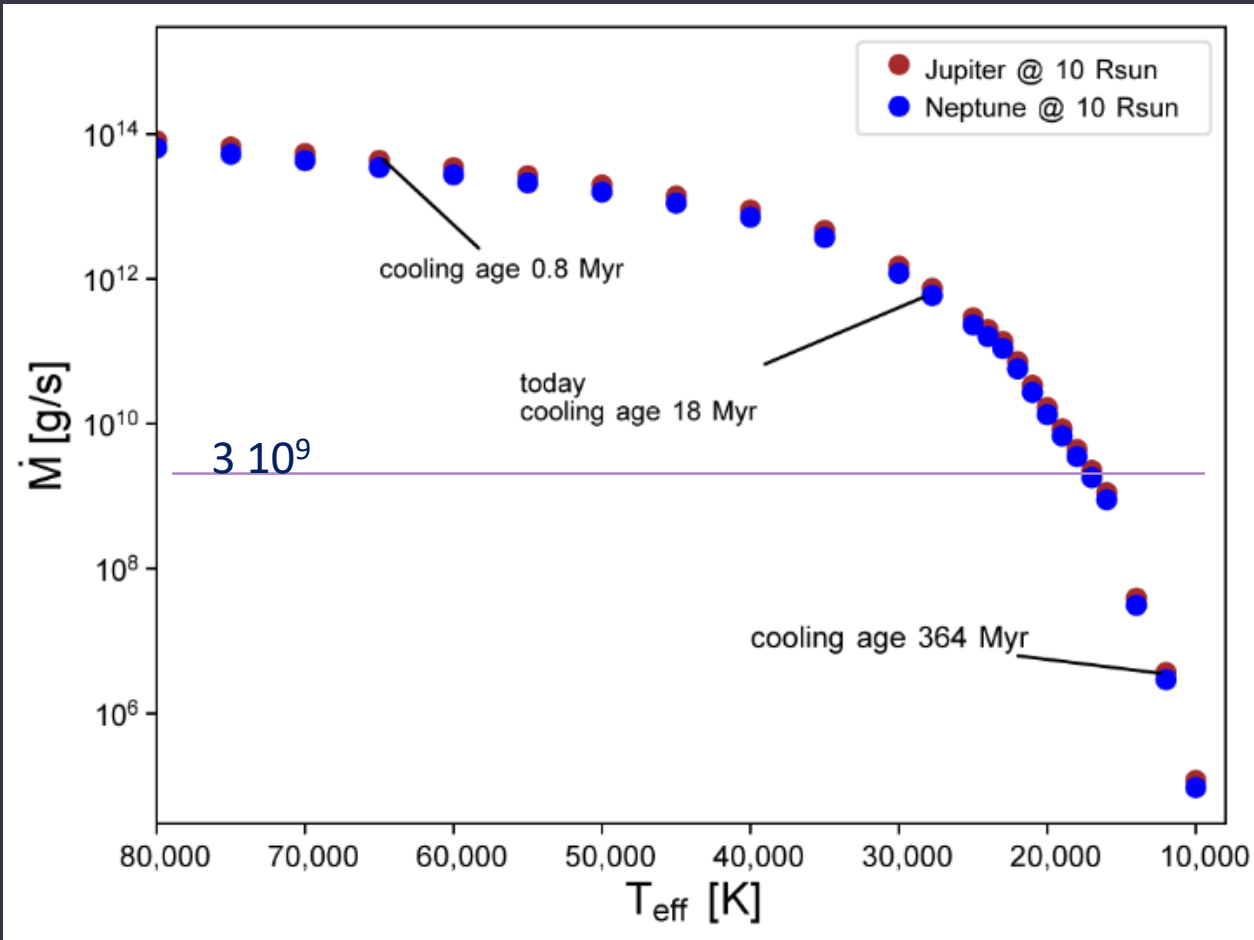
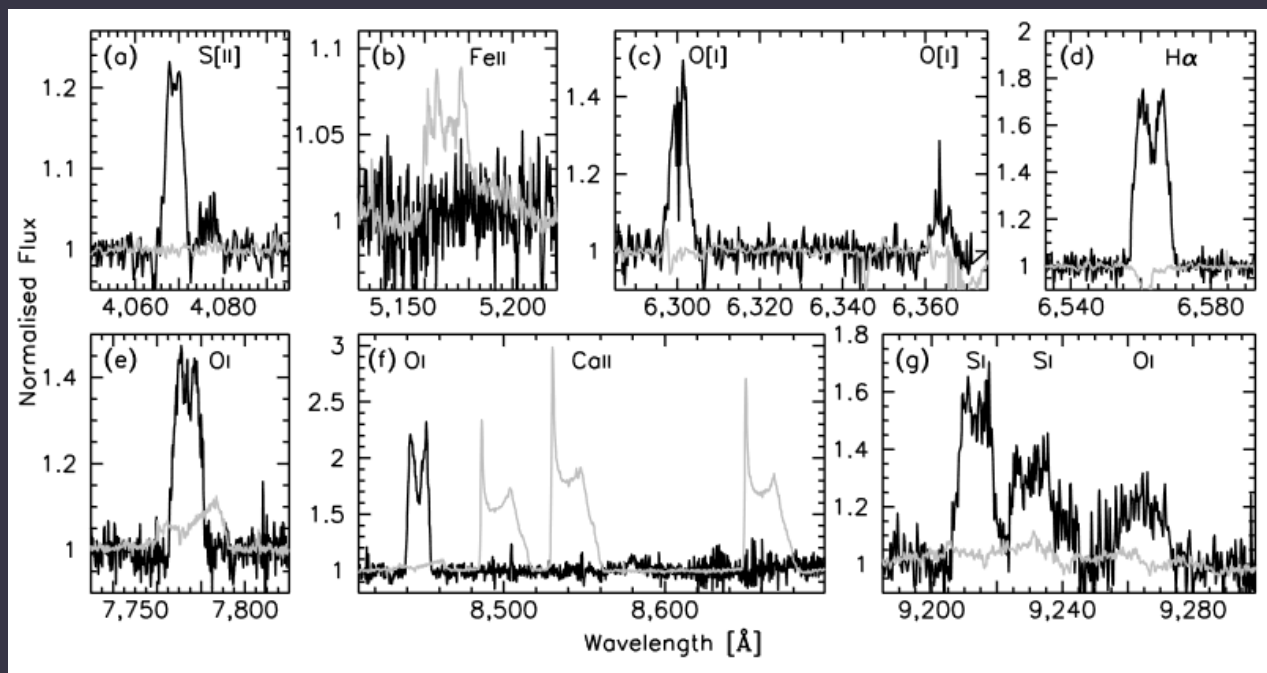
ALMA. 1.3-мм.  
HD 98800. Четверная система!



# Планета у белого карлика

WD J0914+1914

Диск: водород, кислород и сера.



# Итого

---

Тенденция года – успехи радиоастрономов

Дискуссия года – проблемы стандартной  $\Lambda$ CDM модели

Запуски года: Спектр-РГ и Cheops



Яркое открытие: межзвездная комета

Ожидания на 2020: результаты по нейтронным звездам и FRB

... а дальше? .... - JWST, релизы Gaia, LSST

