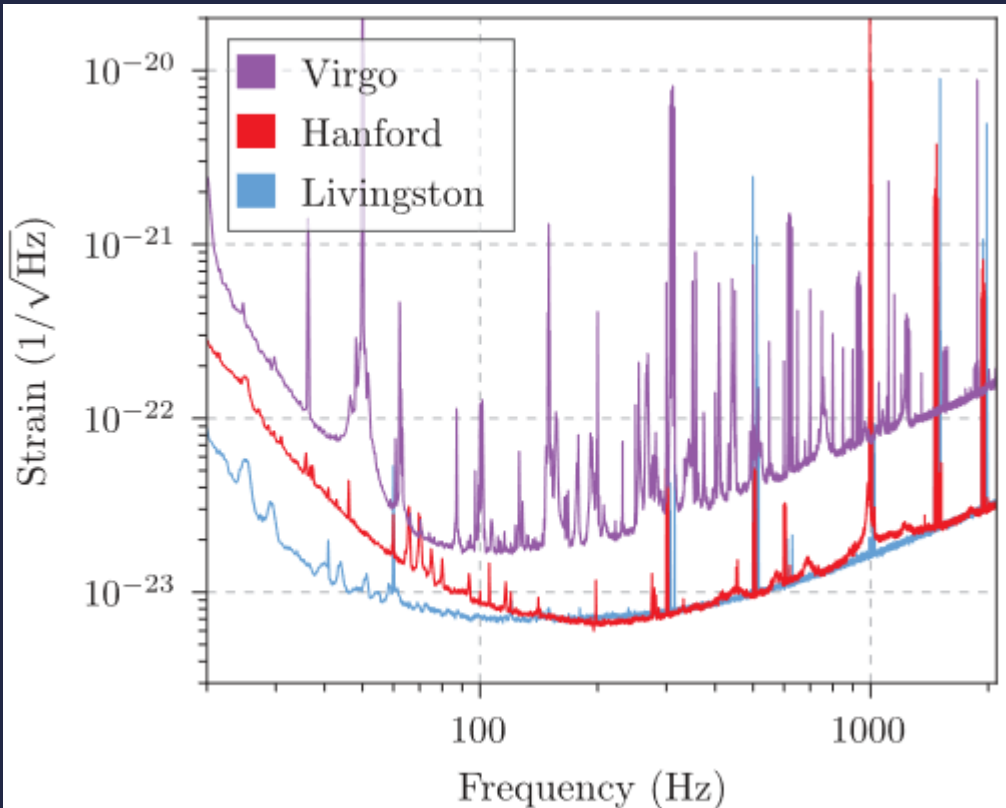


# Астрофизические итоги 2017 года

---

СЕРГЕЙ ПОПОВ

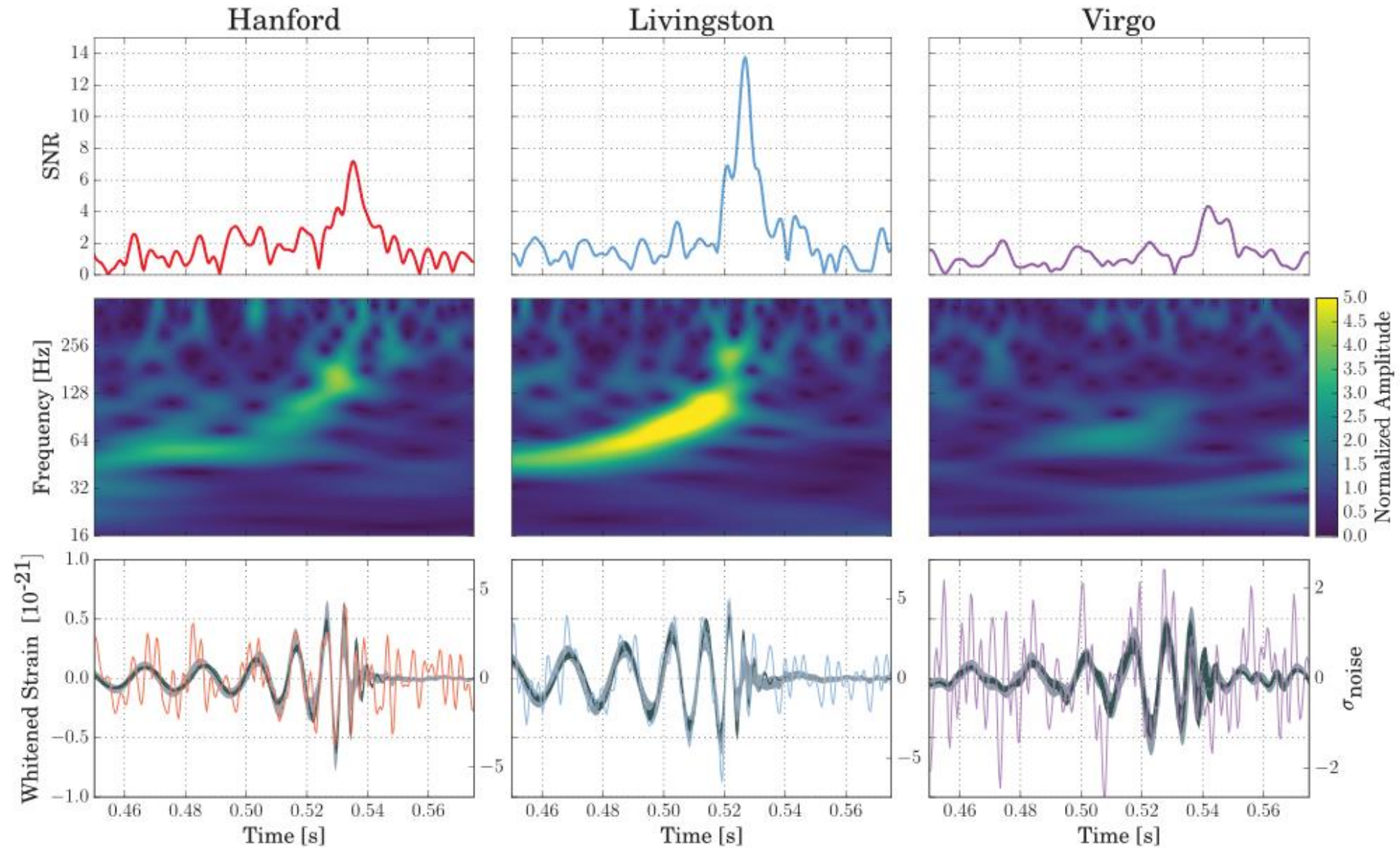
# LIGO+VIRGO=.... ?



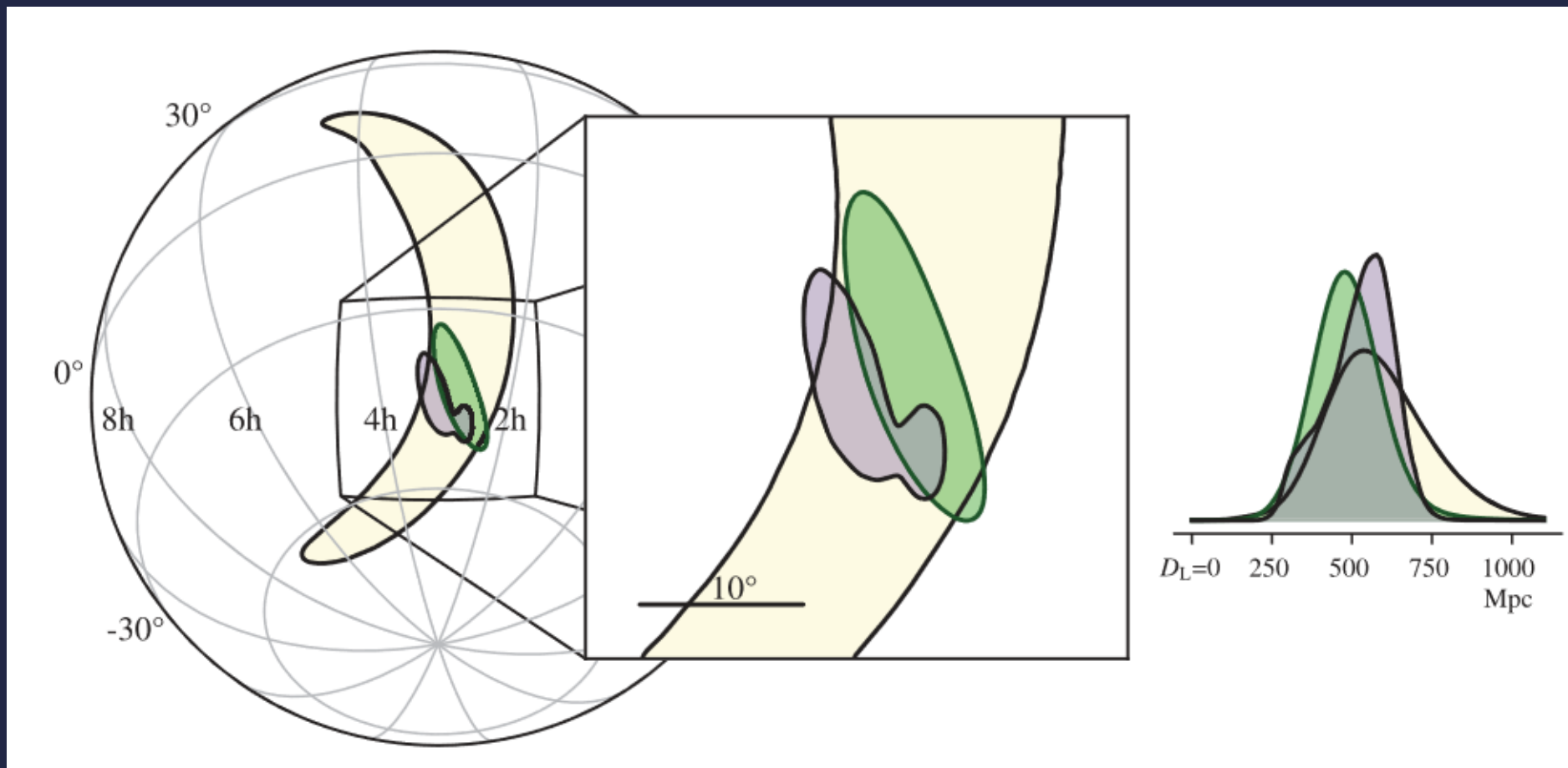
В 2017м году впервые прошли сеансы совместной (одновременной) работы двух детекторов LIGO и детектора VIRGO после серьезной модернизации (и, т.о., увеличения чувствительности) всех трех.

Это позволило точнее определять координаты всплесков на небе.

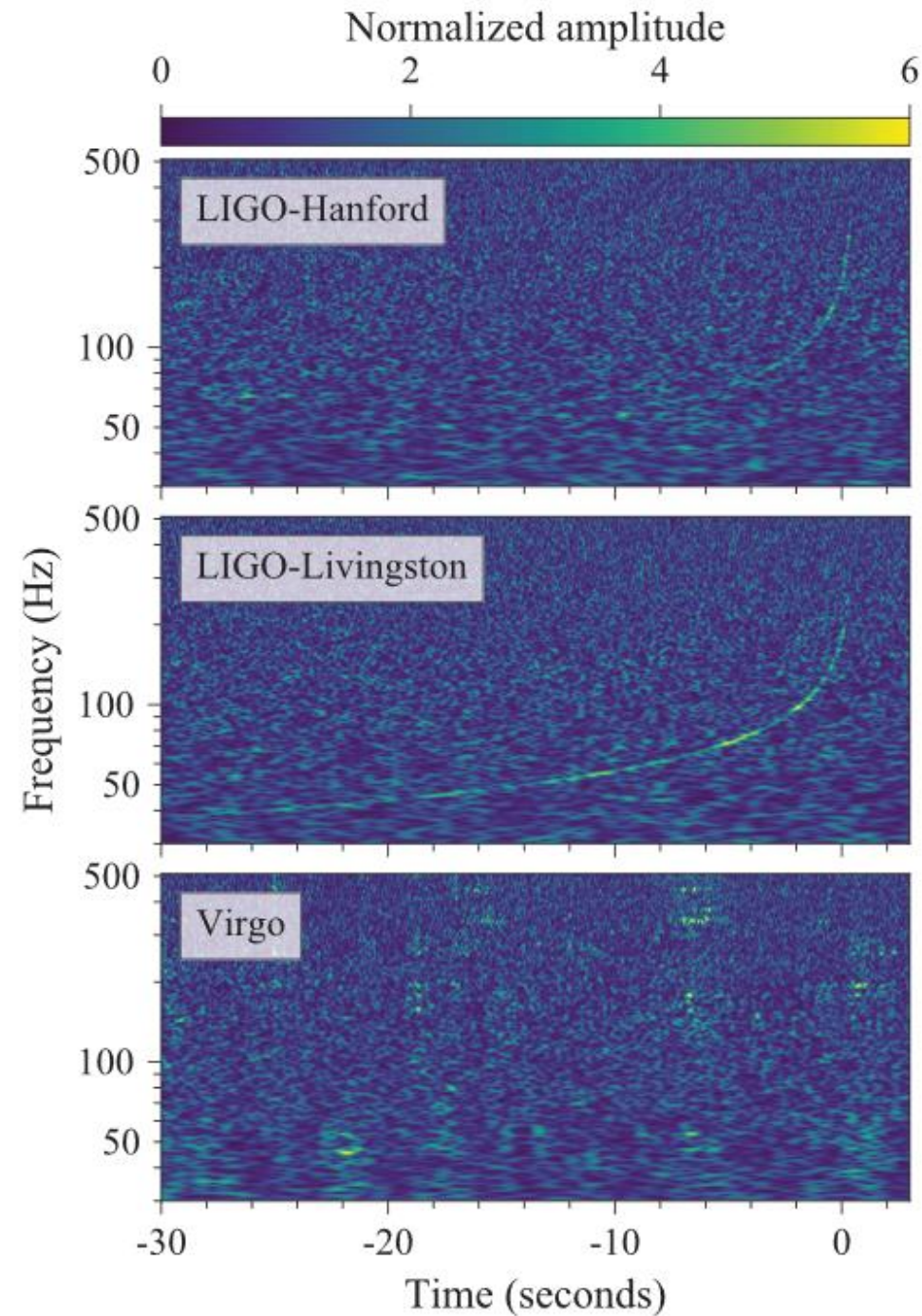
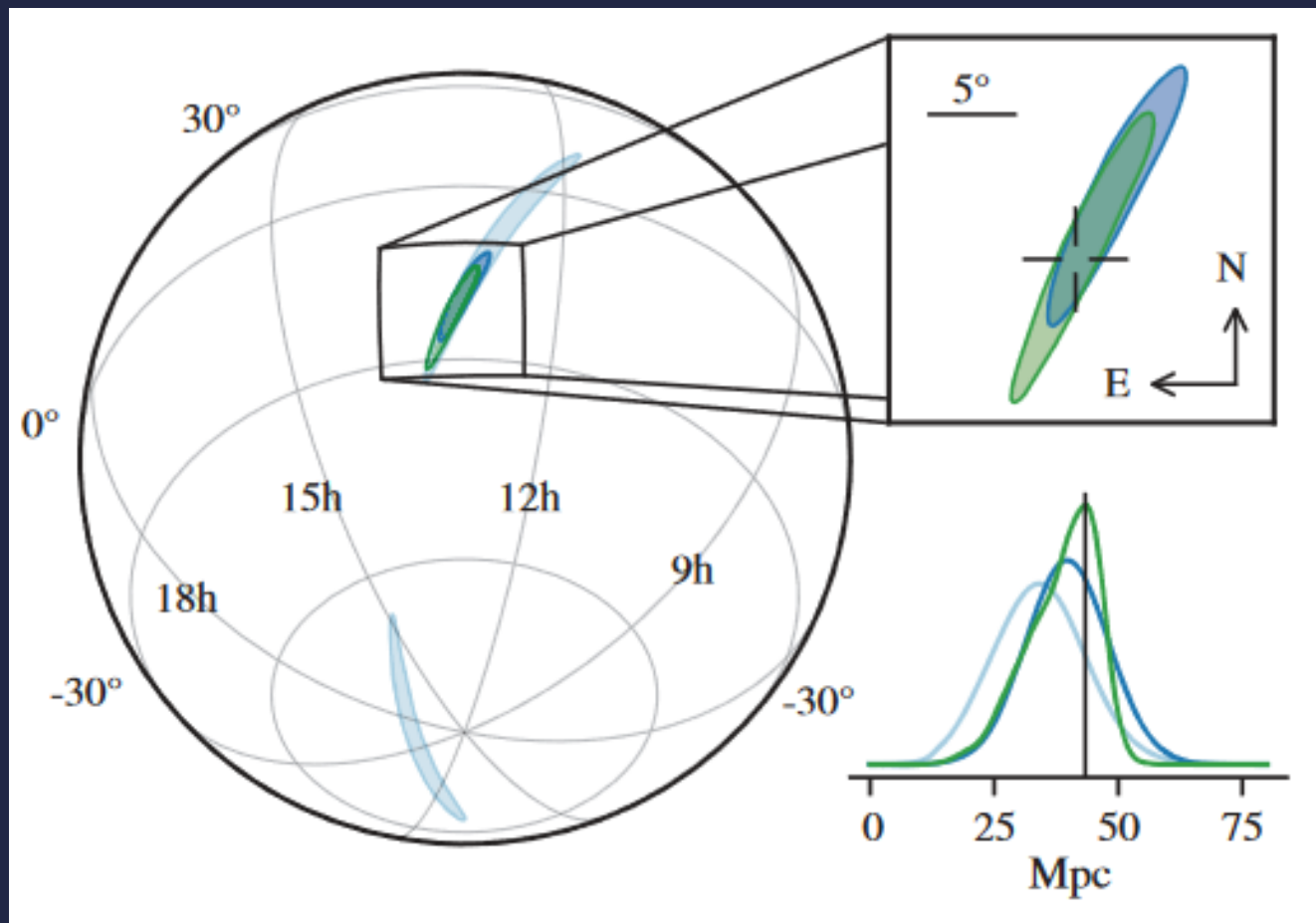




# Быстрая и точная локализация



# Всплеск с НЗ



# Параметры двойной системы

	Low-spin priors ( $ \chi  \leq 0.05$ )	High-spin priors ( $ \chi  \leq 0.89$ )
Primary mass $m_1$	1.36–1.60 $M_\odot$	1.36–2.26 $M_\odot$
Secondary mass $m_2$	1.17–1.36 $M_\odot$	0.86–1.36 $M_\odot$
Chirp mass $\mathcal{M}$	$1.188^{+0.004}_{-0.002} M_\odot$	$1.188^{+0.004}_{-0.002} M_\odot$
Mass ratio $m_2/m_1$	0.7–1.0	0.4–1.0
Total mass $m_{\text{tot}}$	$2.74^{+0.04}_{-0.01} M_\odot$	$2.82^{+0.47}_{-0.09} M_\odot$
Radiated energy $E_{\text{rad}}$	$> 0.025 M_\odot c^2$	$> 0.025 M_\odot c^2$
Luminosity distance $D_L$	$40^{+8}_{-14}$ Mpc	$40^{+8}_{-14}$ Mpc
Viewing angle $\Theta$	$\leq 55^\circ$	$\leq 56^\circ$
Using NGC 4993 location	$\leq 28^\circ$	$\leq 28^\circ$
Combined dimensionless tidal deformability $\tilde{\Lambda}$	$\leq 800$	$\leq 700$
Dimensionless tidal deformability $\Lambda(1.4M_\odot)$	$\leq 800$	$\leq 1400$

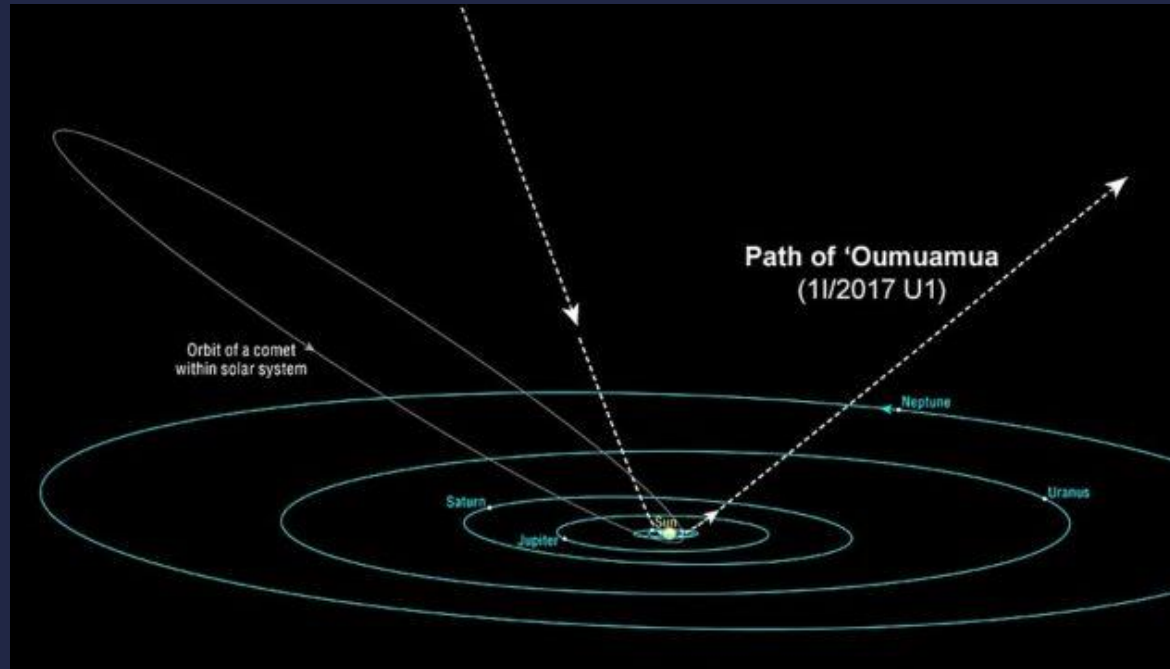
# Ключевые научные результаты

---

- Доказательство связи коротких гамма-всплесков со слияниями нейтронных звезд
- Прямые наблюдения, позволяющие изучать нуклеосинтез при слияниях нейтронных звезд
- Данные по уравнению состояния нейтронных звезд
- Измерение постоянной Хаббла
- Тест принципа эквивалентности
- Тест лоренц-инвариантности
- Измерение скорости распространения гравитационных волн

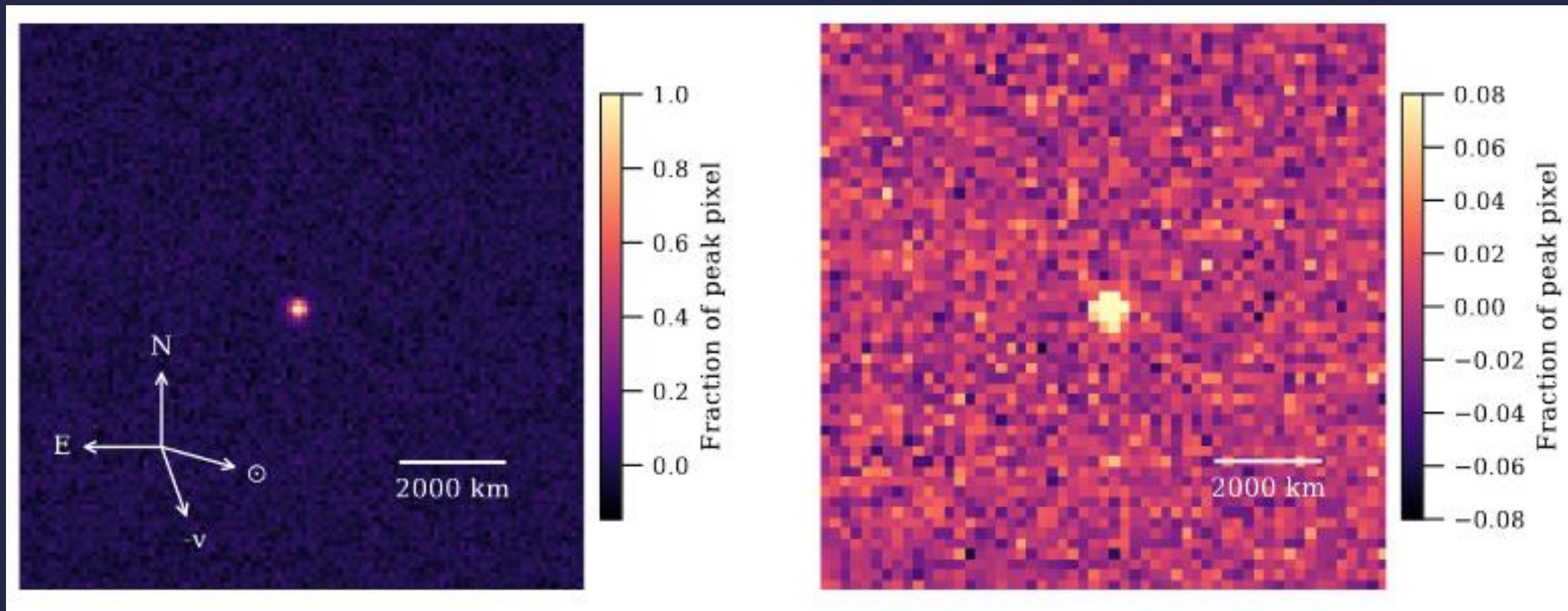
# Оумуамуа – первый межзвездный

<http://www.skyandtelescope.com>



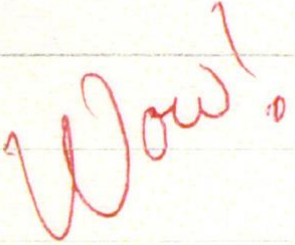


# Параметры



Вытянутый, без льда на поверхности, медленно вращающийся. Примерно 35 на 230 метров.

# Wow-сигнал и кометы



1		2		1	4	3
1	16	1		1		1
1	11	1		1		11
	1				3	1
6	2			3	1	
1	E24	3	12	1	2	1
Q	1	1	2	1	1	1
U	3	1		3	7	1
2	J	3	1	1	1	1
5	1				1	1
	14	1		1	1	1
1	3	1		1		1
1	4		1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1
	1			1		2
1	1	1			1	1
					1	1
						14

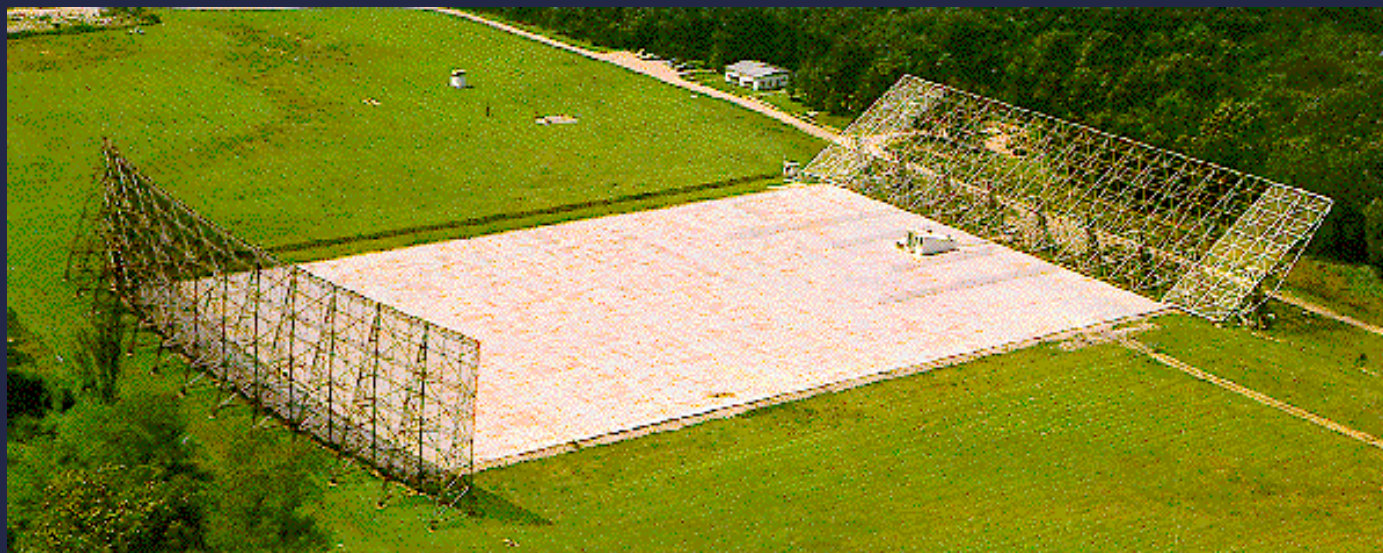
Телескоп системы Крауса.

103 на 33 метра.

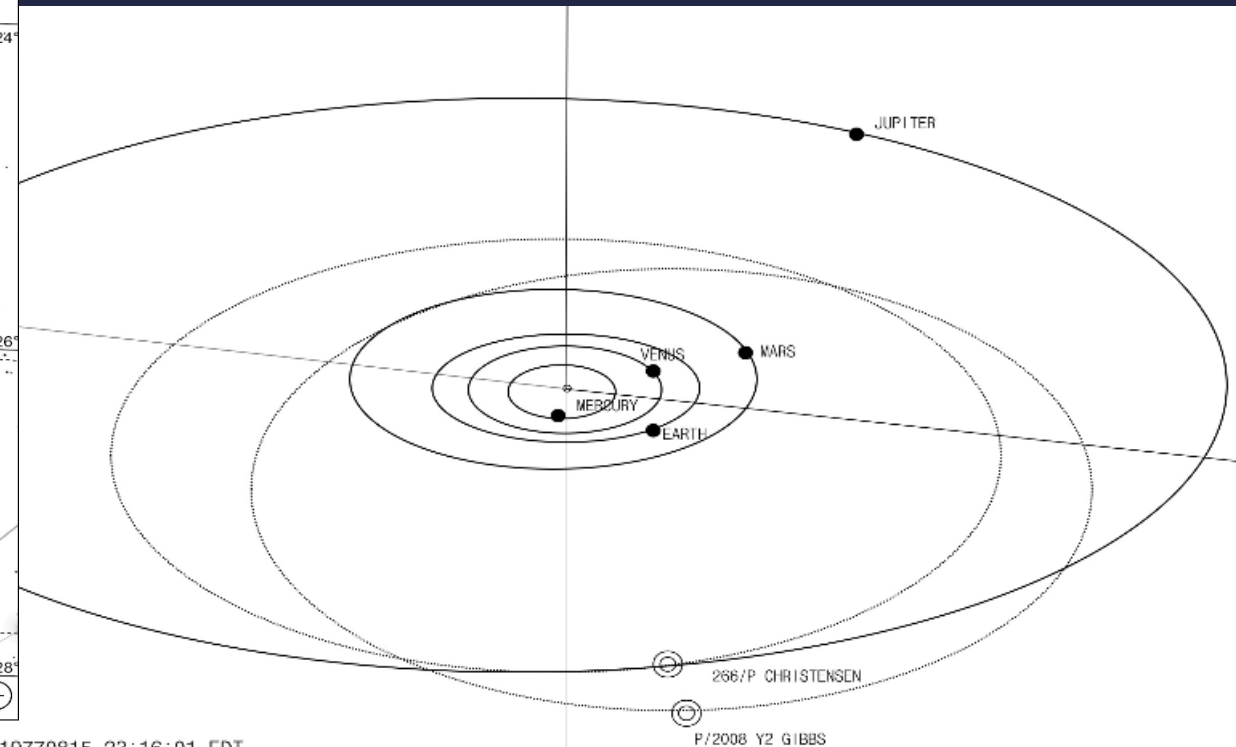
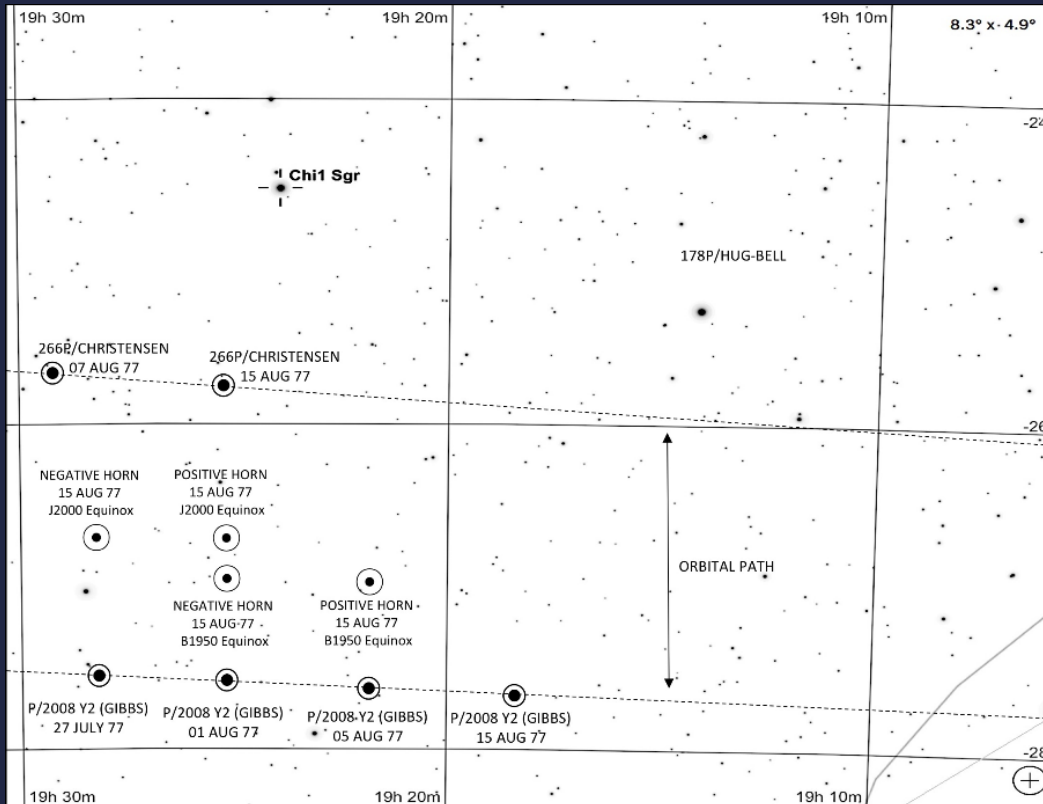
Эквивалентен антенне с диаметров 53 метра

15 августа 1977 года, ближе к полуночи ....

Сигнал на 1.4 ГГц в узкой полосе (<10 кГц)  
в направлении примерно на  
шаровое скопление M55 в Стрельце.



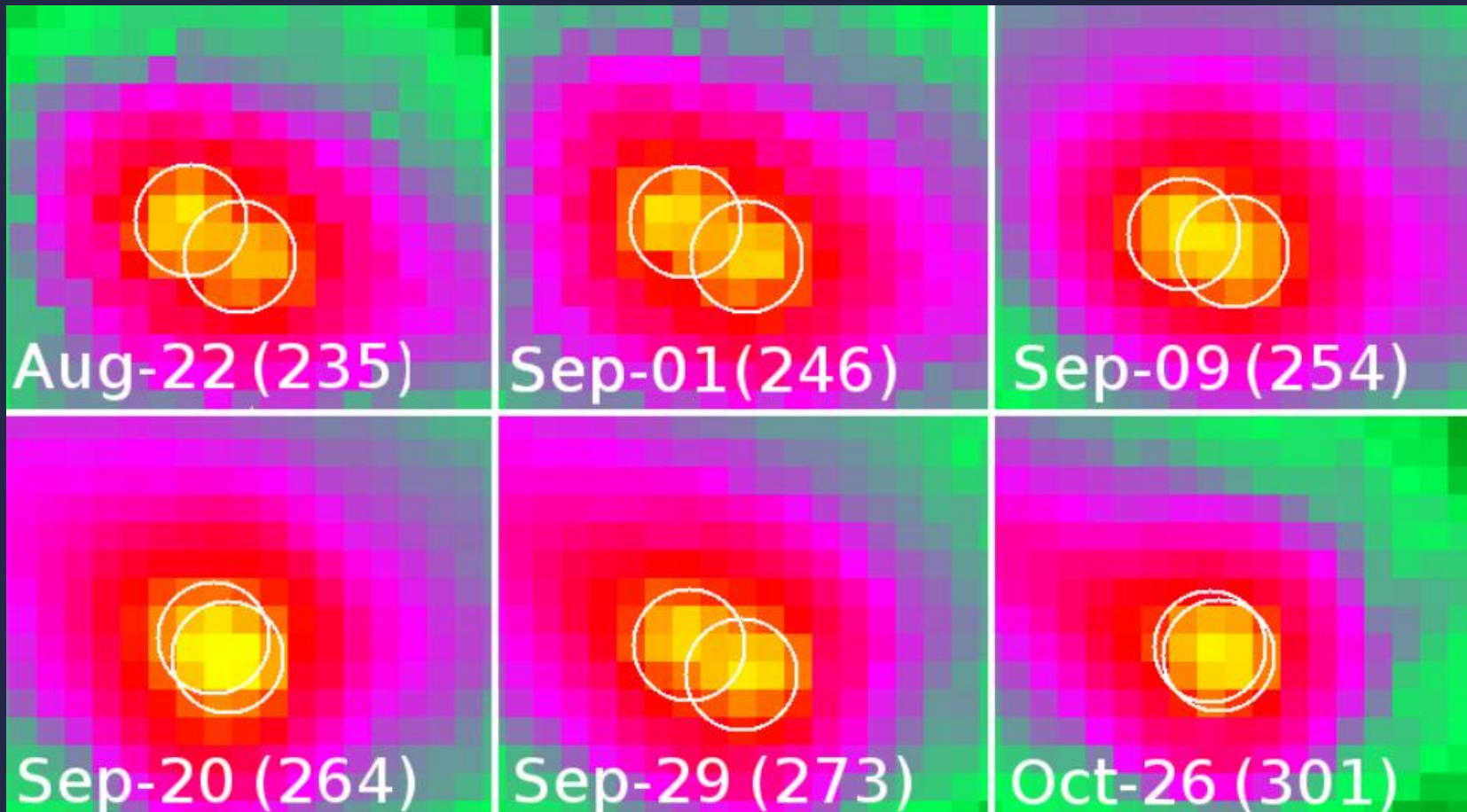
# 266P/Christensen и P/2008 Y2 (Gibbs)



Существенно, что обе кометы были открыты недавно, уже в 21м веке (2006 и 2008 гг.).

19770815 23:16:01 EDT  
SOURCE: NASA/JPL  
PREPARED BY PROF. PARIS  
ST PETERSBURG COLLEGE

# Двойная комета Главного пояса



288P (300163)

Большой эксцентриситет двойной  $e > 0.6$   
Орбитальный период 100-175 дней.  
Расстояние между телами  $\sim 100$  км.

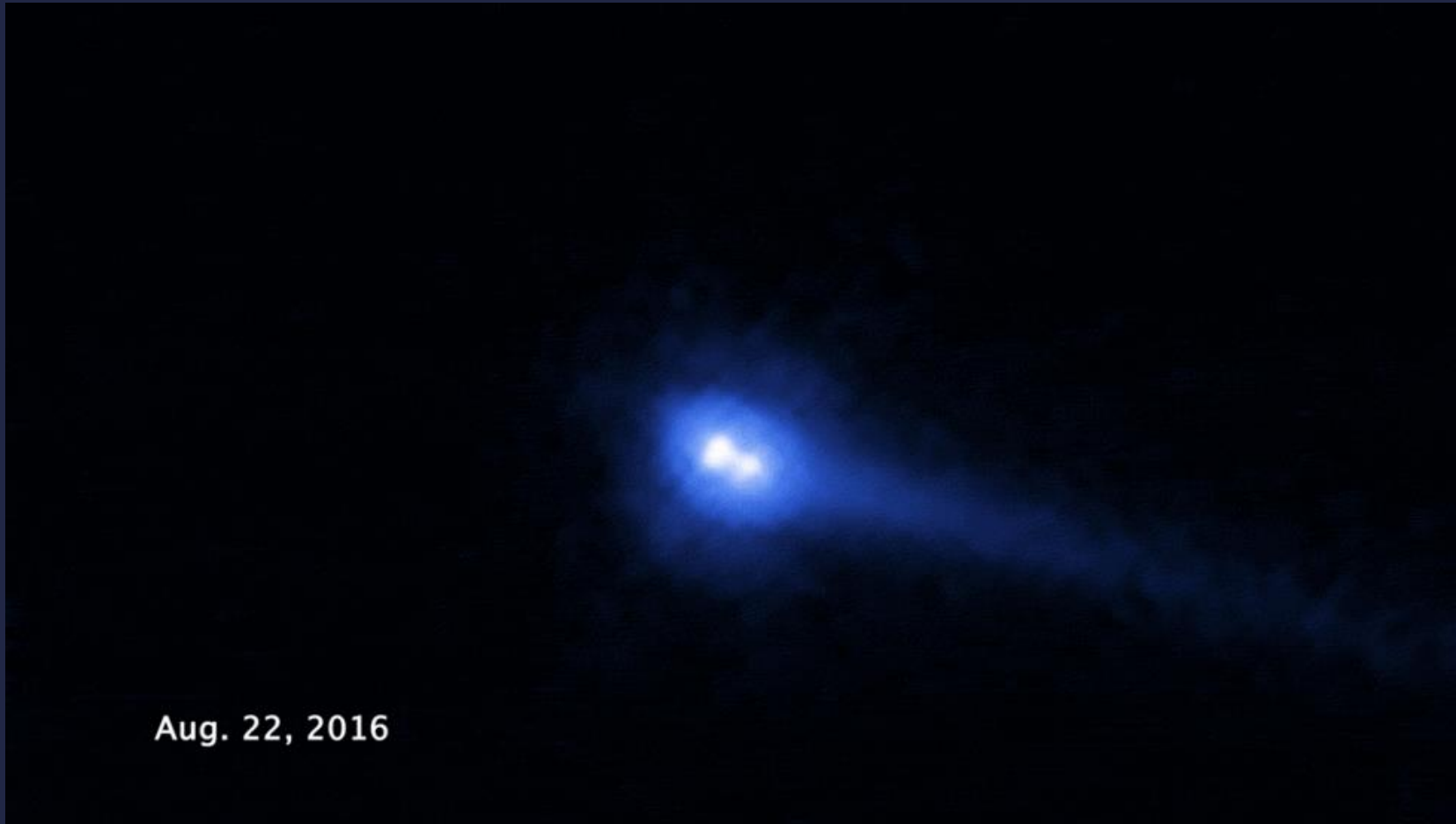
Очень нетипичный двойной астероид.  
Значит, особый механизм формирования

Возможно, активность астероида  
запущена столкновением с телом  
размером около метра.

Эволюция орбиты двойной может  
быть связана с истечением вещества.

Он же 288P, он же 300163,  
он же 2006 VW<sub>139</sub>, он же P/2006 VW<sub>139</sub>

---



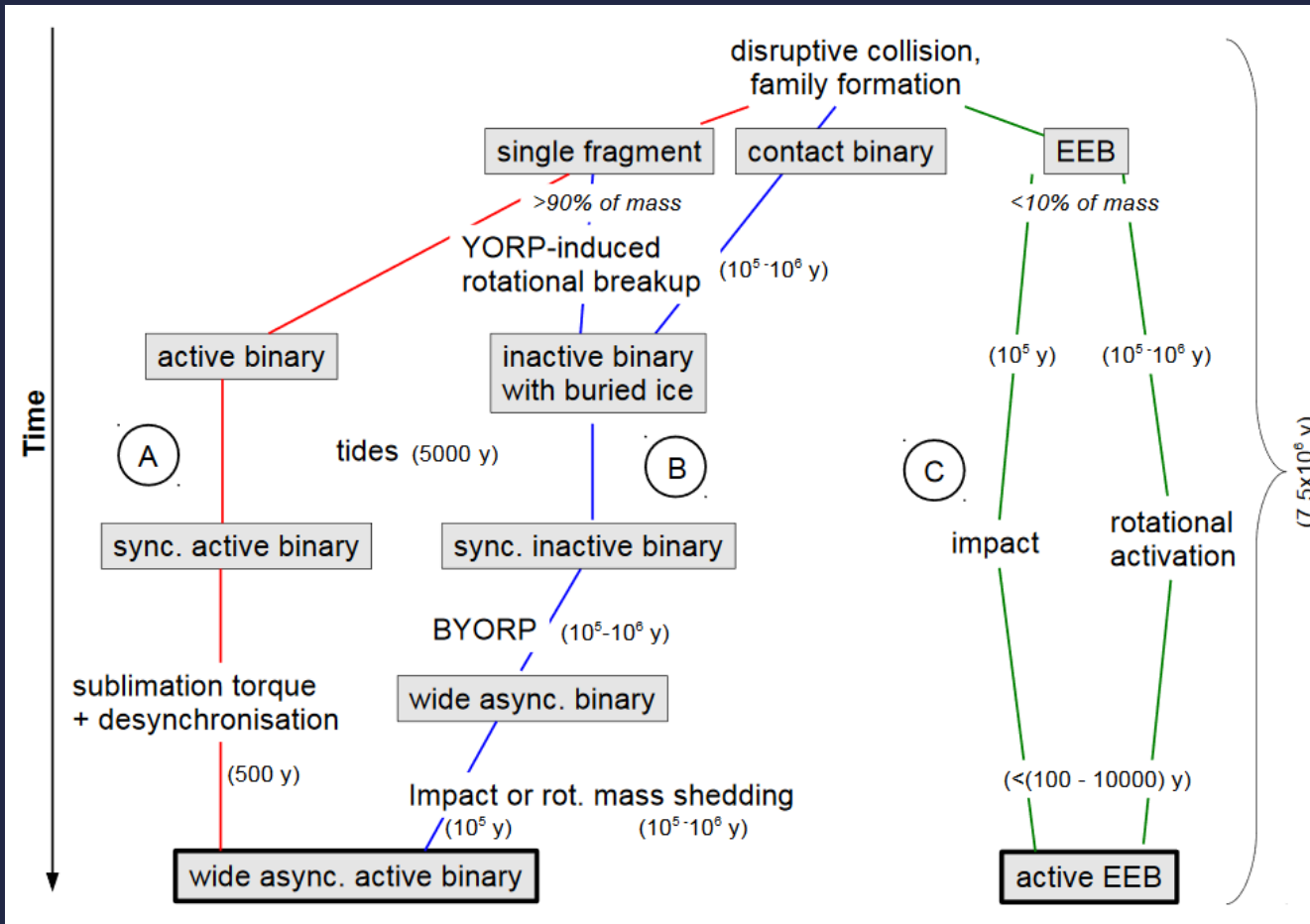
Открыт Spacewatch в 2006 г.

Кометная активность открыта  
в 2011 г. на Pan-STARRS.

Размеры компонент 1-2 км.

Aug. 22, 2016

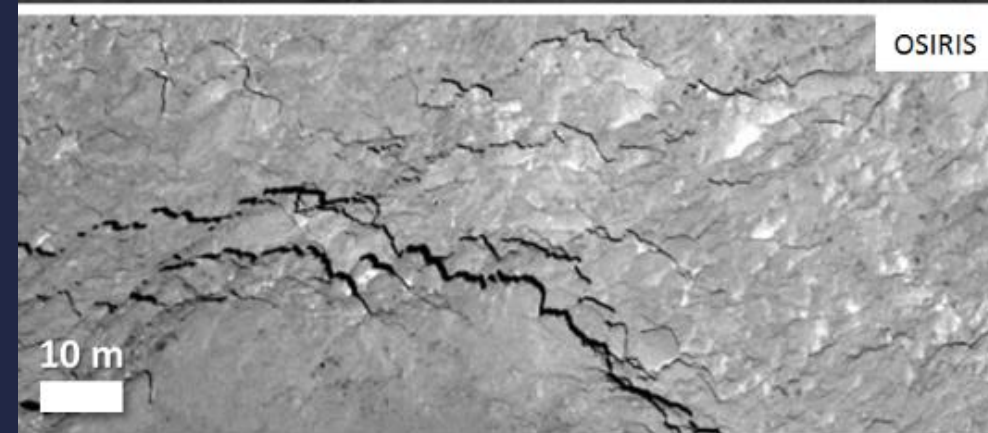
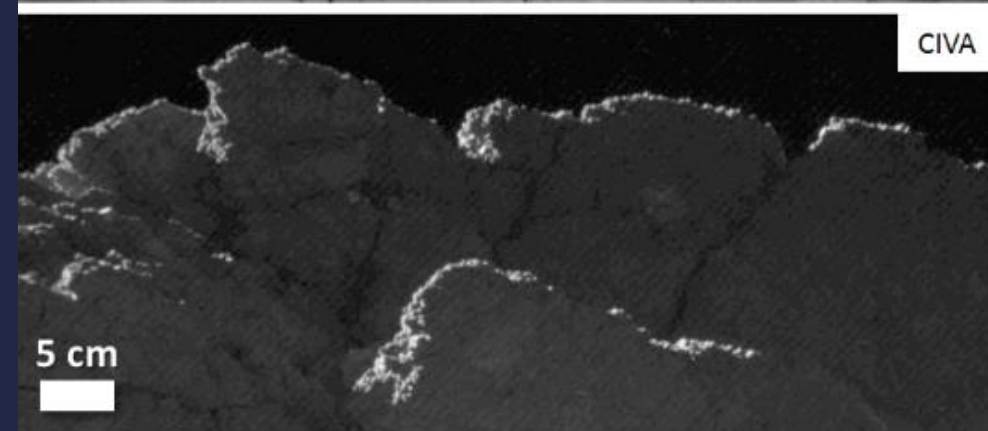
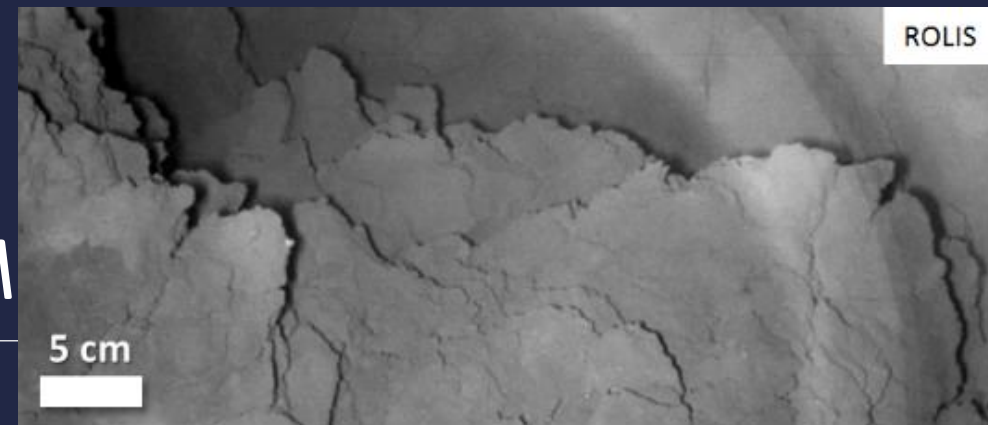
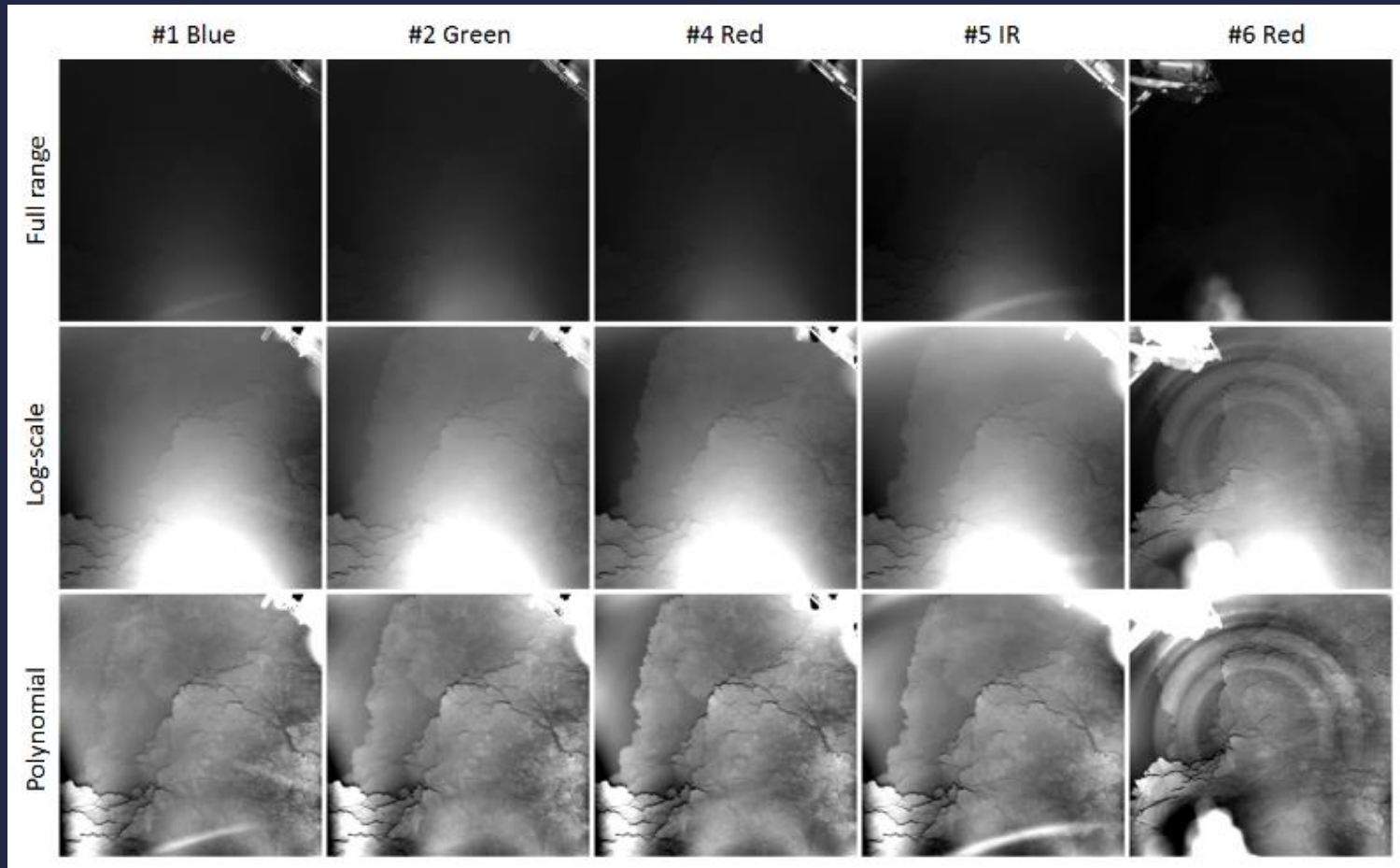
# Эволюция P288



Катастрофическое столкновение  
~7.5 млн. лет назад

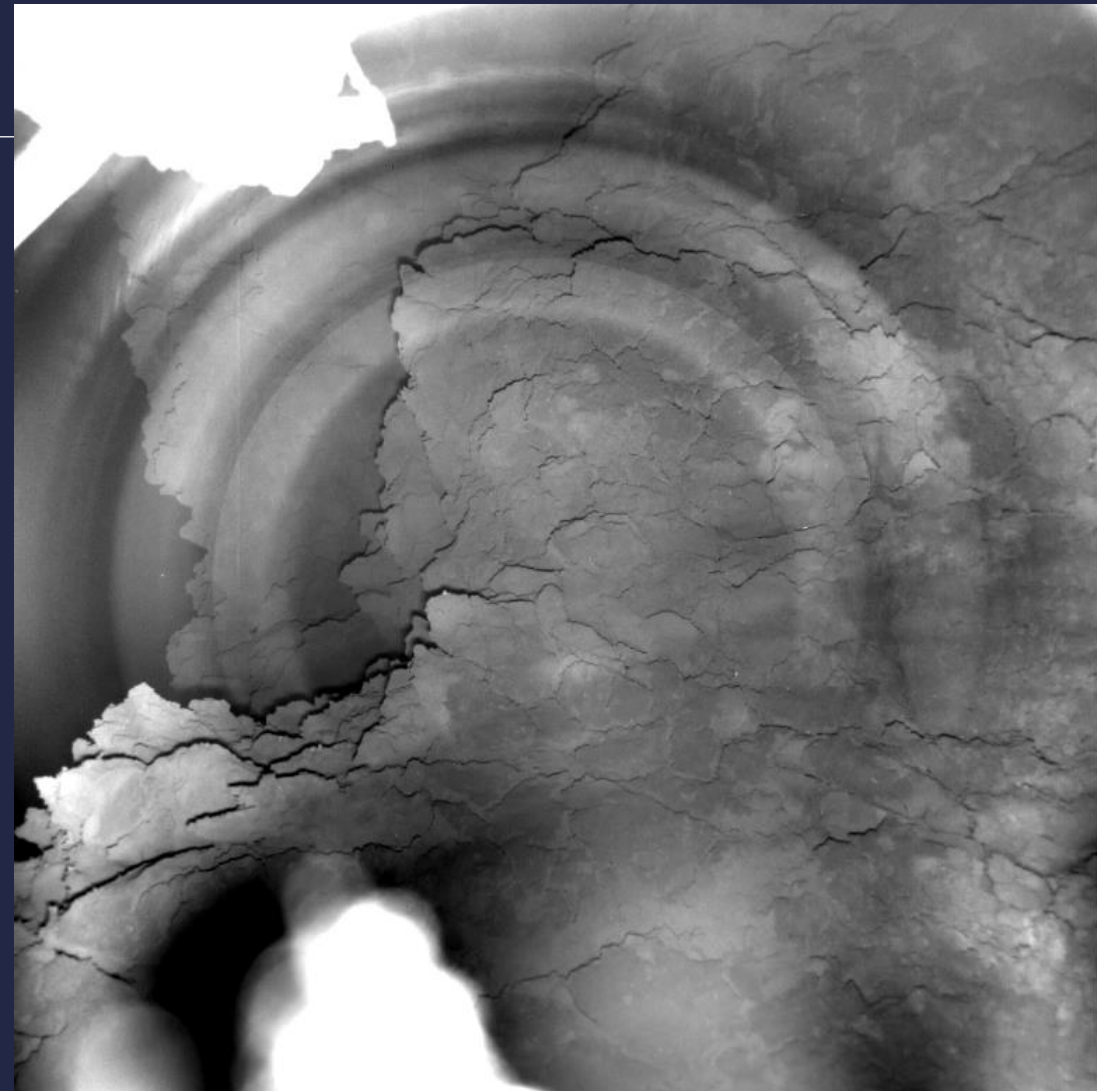
Известно >10 молодых астероидов,  
видимо, порожденных в этом событии,  
в котором было разрушено тело  
размером около 10 км.

# Комета крупным планом



# Последний кадр ROLIS

После окончательного «упокоения» камера ROLIS на борту зонда Philae сделала 5 снимков. Из них 4 – с подсветкой светодиодами. Наконец, два земных дня на поверхности был сделан последний снимок. Его передача закончилась за секунды до исчерпания запасов батарей.





# Еще одна карликовая планета?

Pan-STARRS Outer Solar System Survey

2010 JO<sub>179</sub>

600-900 км

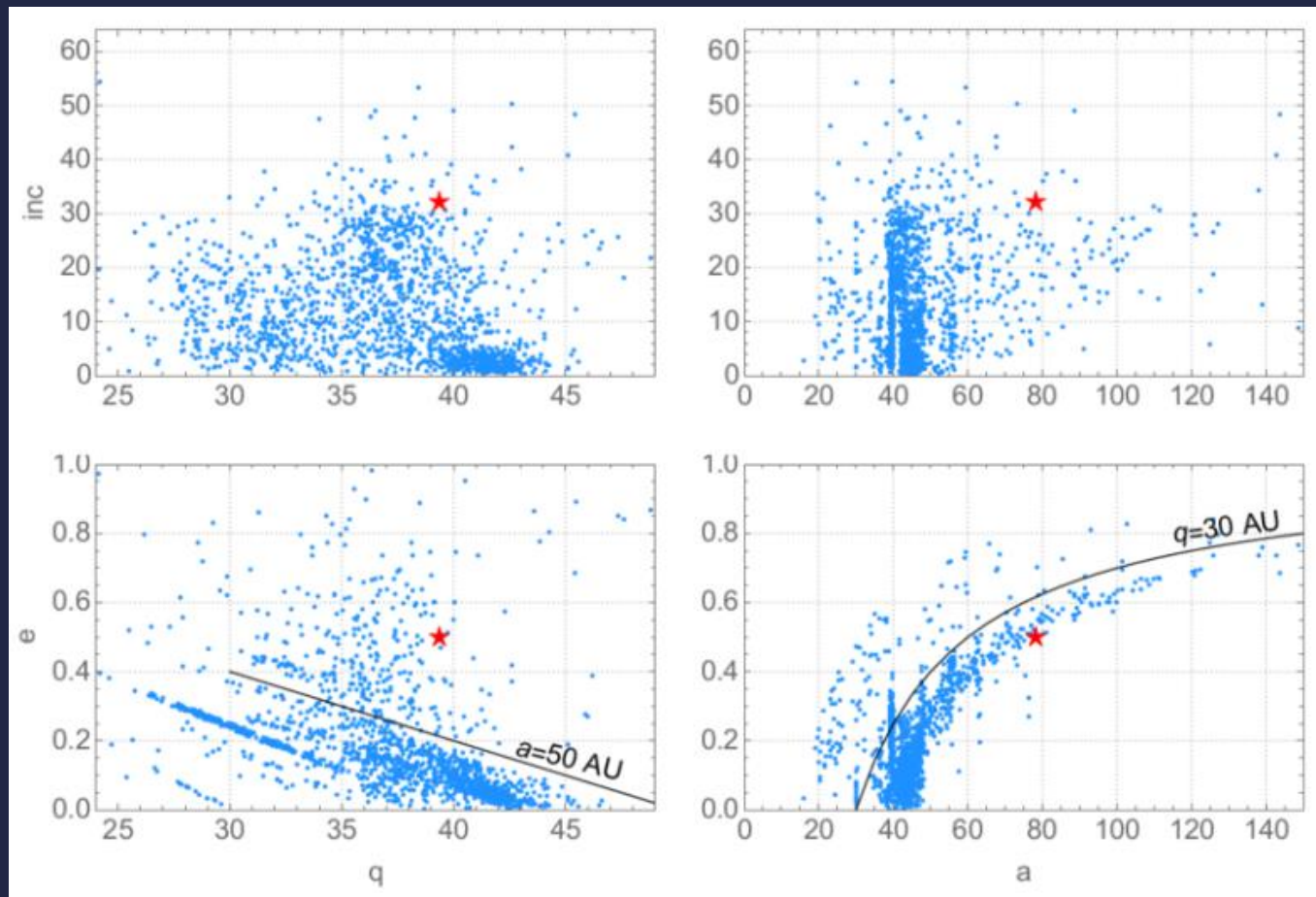
Период вращения 30.6 часа

Большая полуось ~78 а.е.

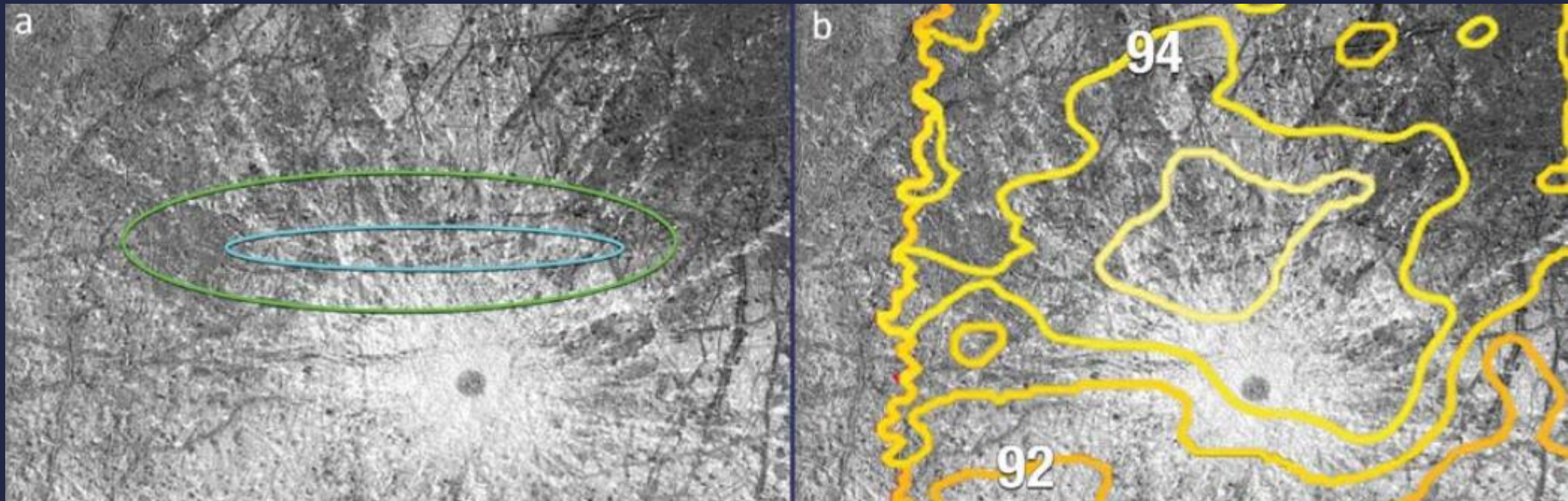
В резонансе 21:5 с Нептуном

Большой эксцентриситет 0.5

Большое наклонение орбиты 32 градуса



# Криовулканизм на Европе

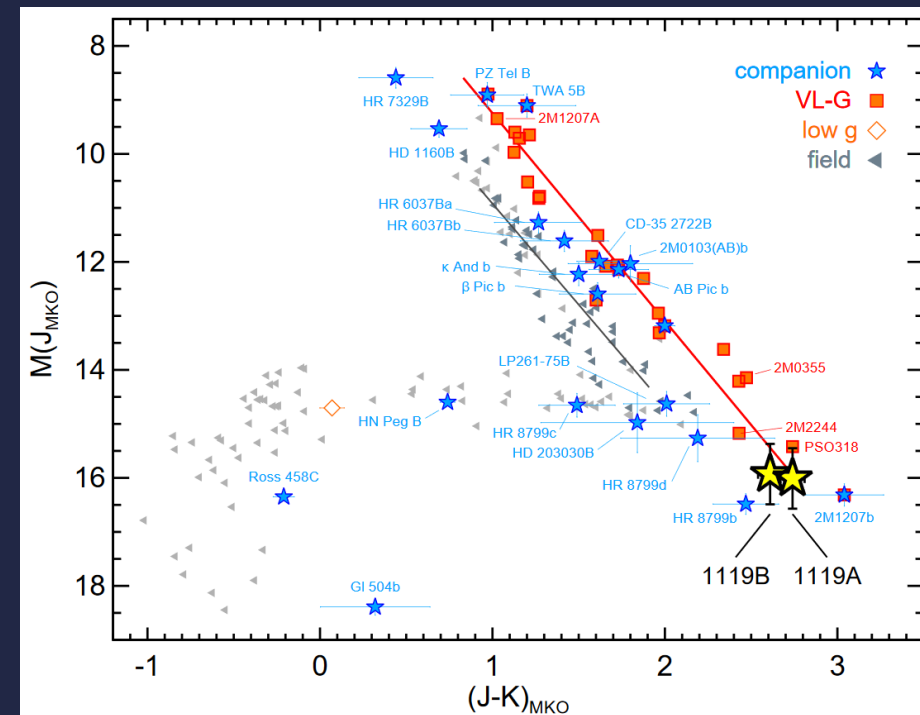
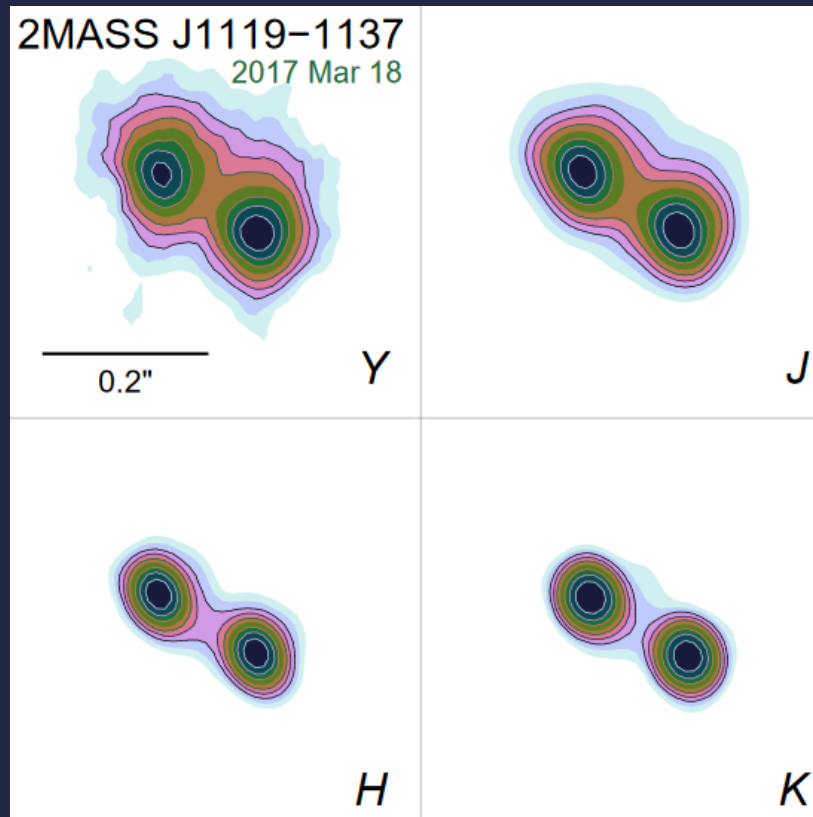
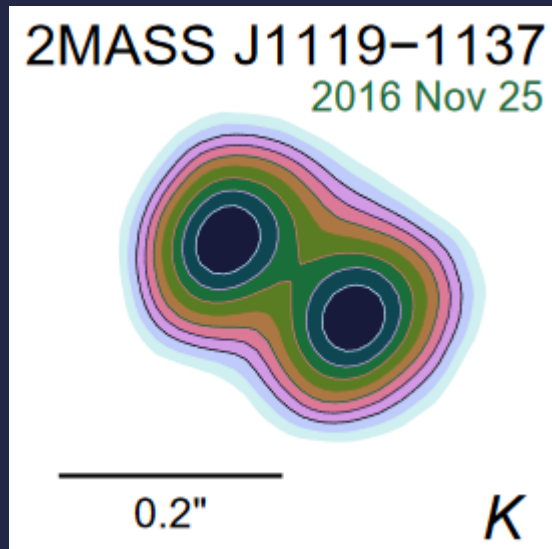


Наблюдения на Хаббле в феврале 2016 г.  
Предыдущие – в марте 2014.

# Бурый карлик превращается.....

... превращается бурый карлик .....

**В ПАРУ ПЛАНЕТ!**

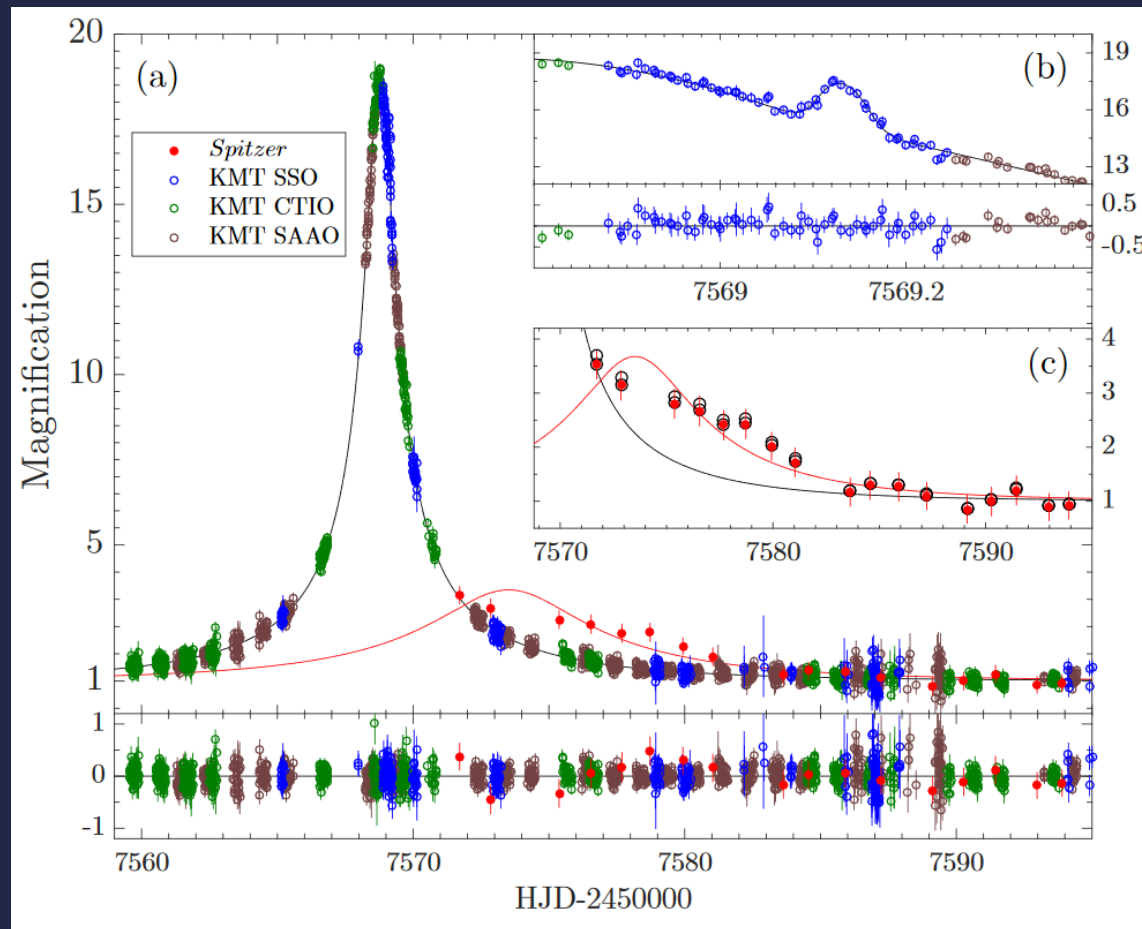


Наблюдения на Кеке.  
Между планетами 3.6 а.е.  
Массы планет по 3-5 масс Юпитера.

# Землеподобная планета бурого карлика

OGLE-2016-BLG-1195Lb

По наблюдениям микролинзирования на наземных установках и на космическом телескопе Спитцер обнаружена планеты массой 1.1-1.9 земной на орбите вокруг бурого карлика (масса 0.06-0.09). Размер орбиты 1-1.3 а.е. Это самая легкая планета среди всех, обнаруженных методом микролинзирования. Система находится в 4 с небольшим кпк от нас.

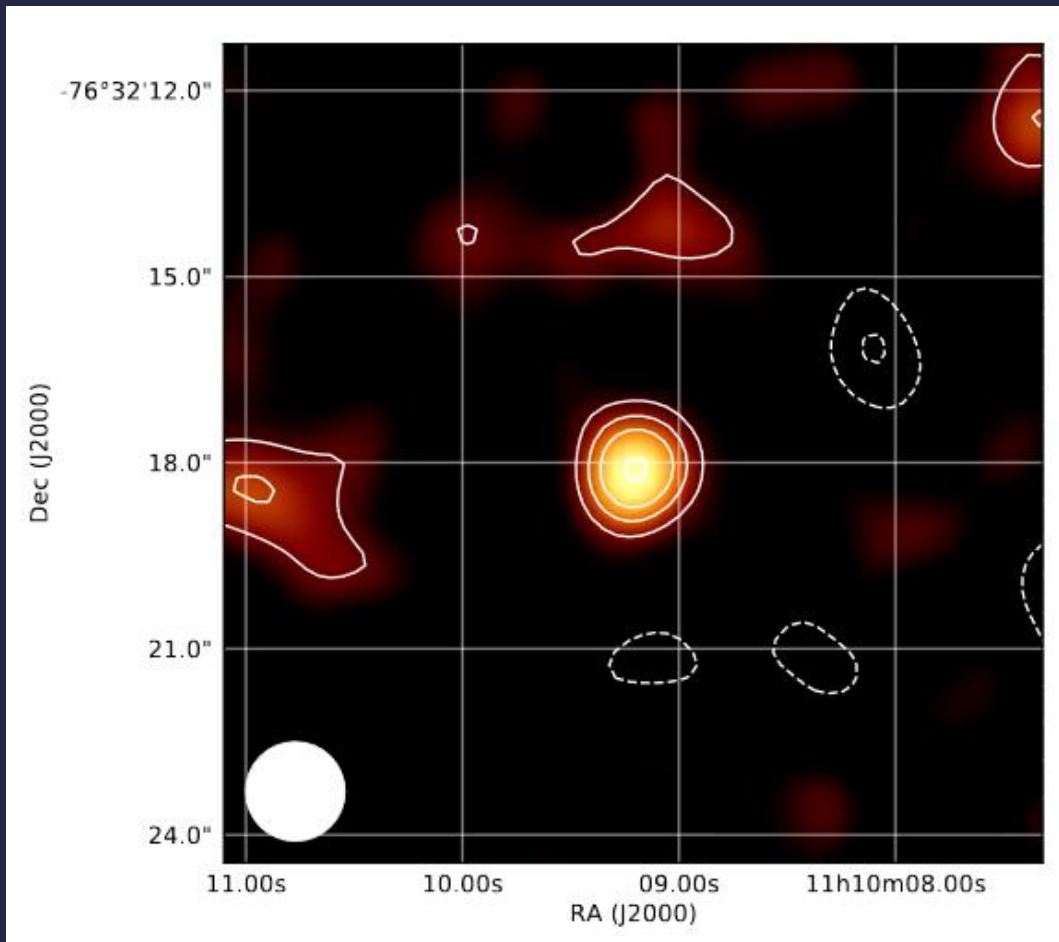


# Диск вокруг одиночной планеты

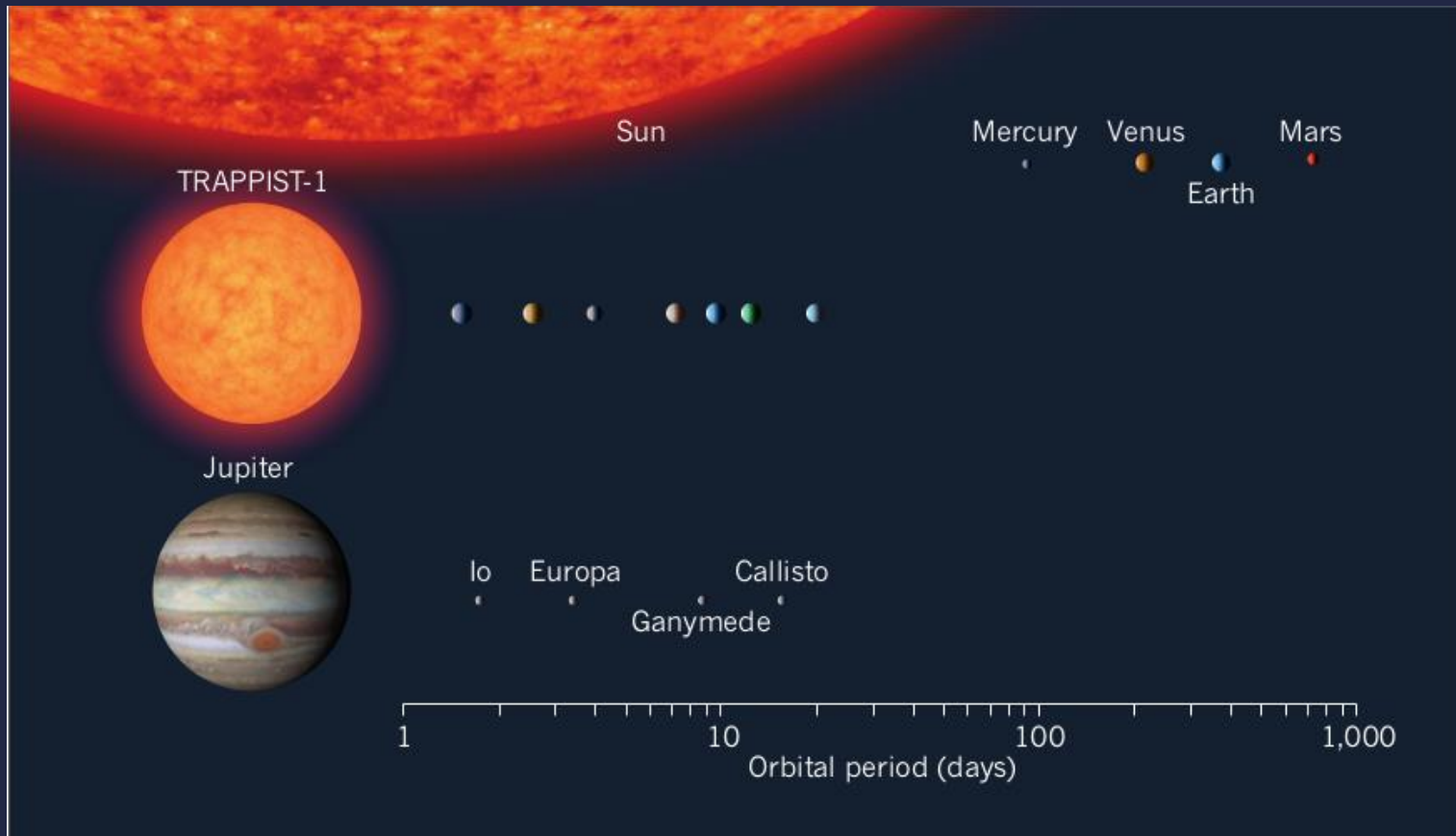
OTS44 – одна из четырех одиночных планет с диском.

С помощью ALMA диск впервые удалось разглядеть.

Масса планеты ~12 масс Юпитера.  
Масса пыли в диске 0.1-0.6 масс Земли.



# Система TRAPPIST-1: семь землеподобных планет



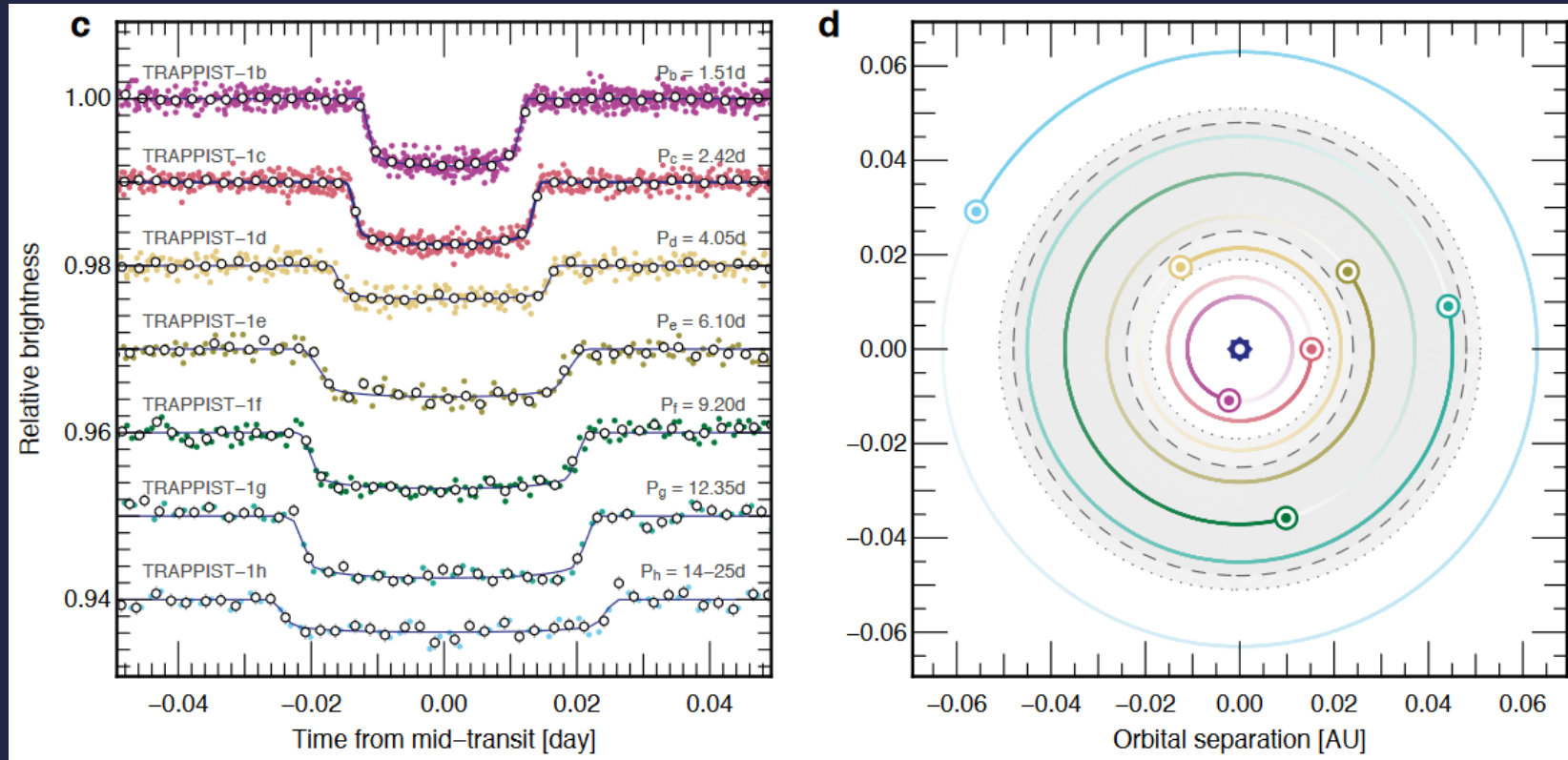
Радиусы планет в радиусах Земли:  
1.09, 1.06, 0.77, 0.92, 1.04, 1.13, 0.76

Звезда – красный карлик.

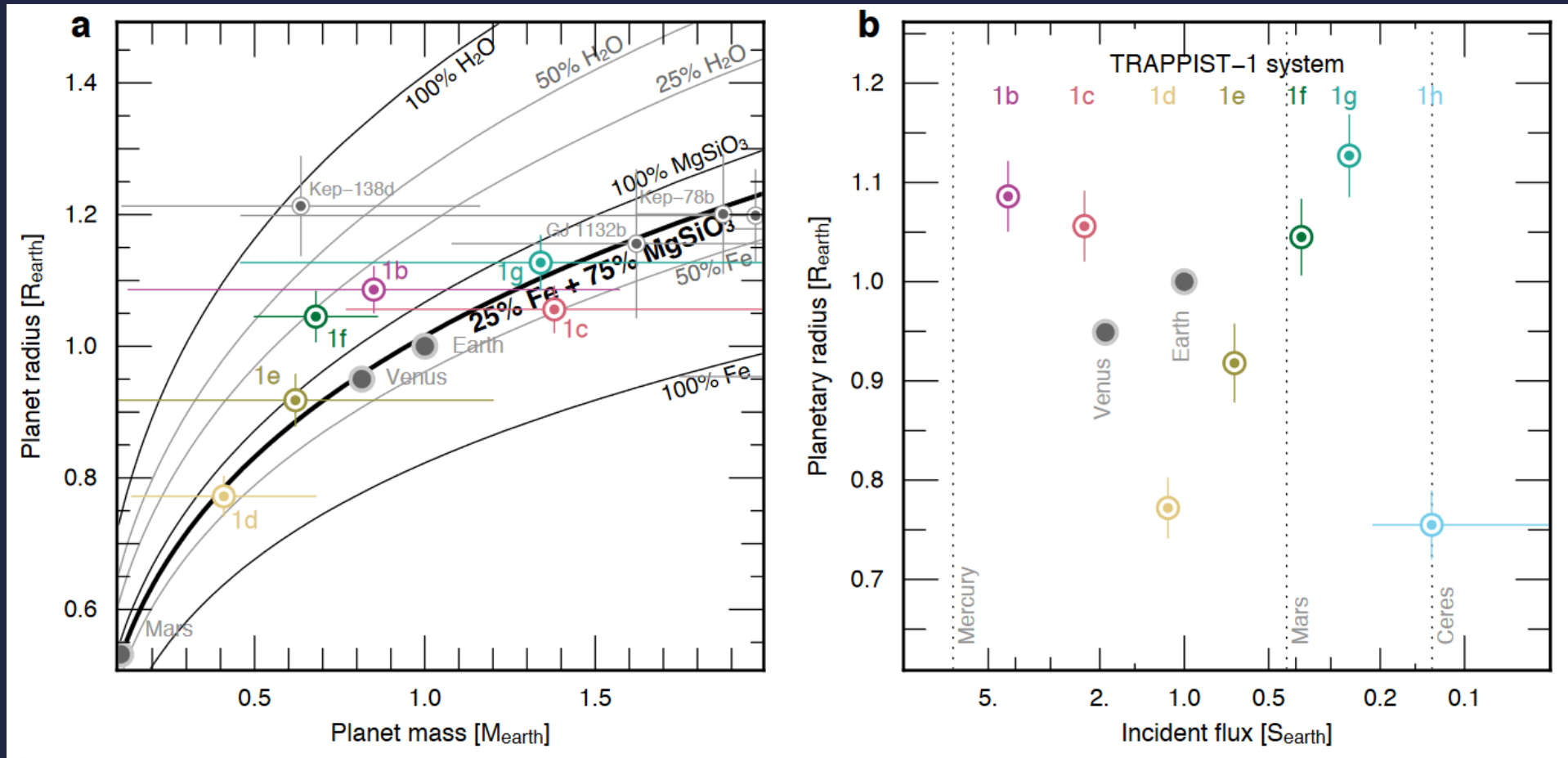
Расстояние 12 пк.

# Великолепная семерка

Три планеты были надежно идентифицированы по данным наземных наблюдений в проекте TRAPPIST. Остальные были добавлены в результате мониторинга транзитов на космическом телескопе Спитцер.



# Параметры планет





# Новая гравитационная лаборатория

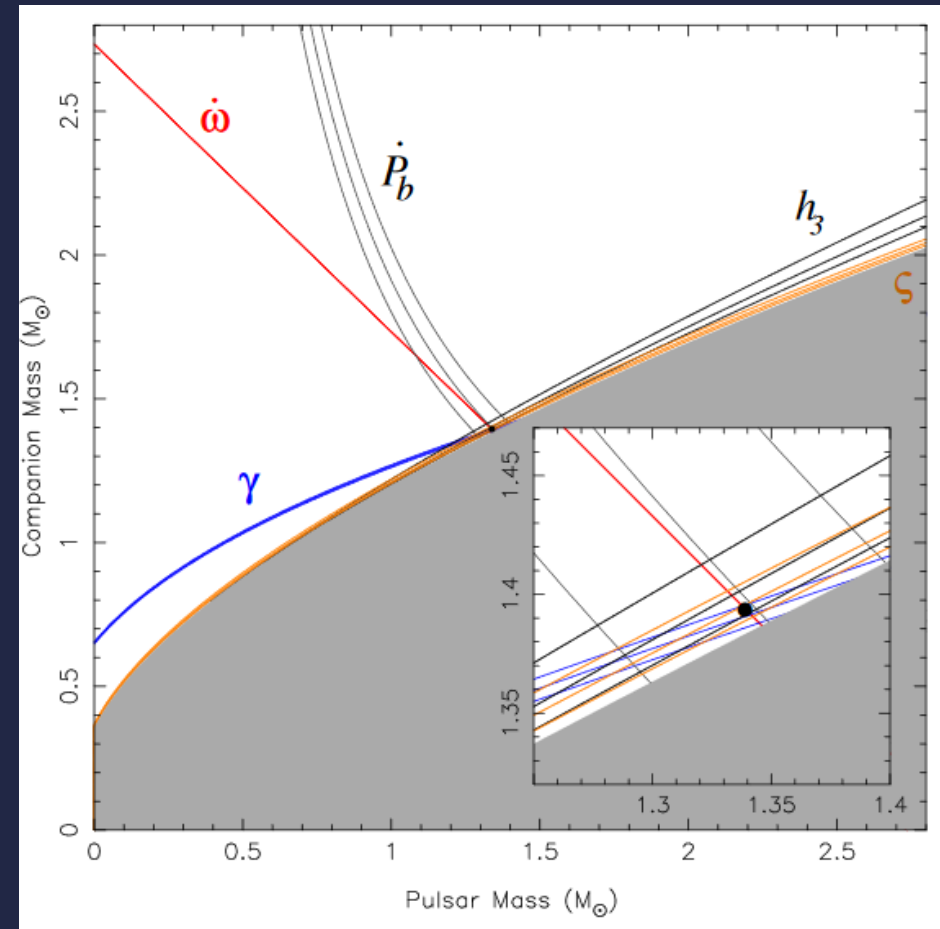
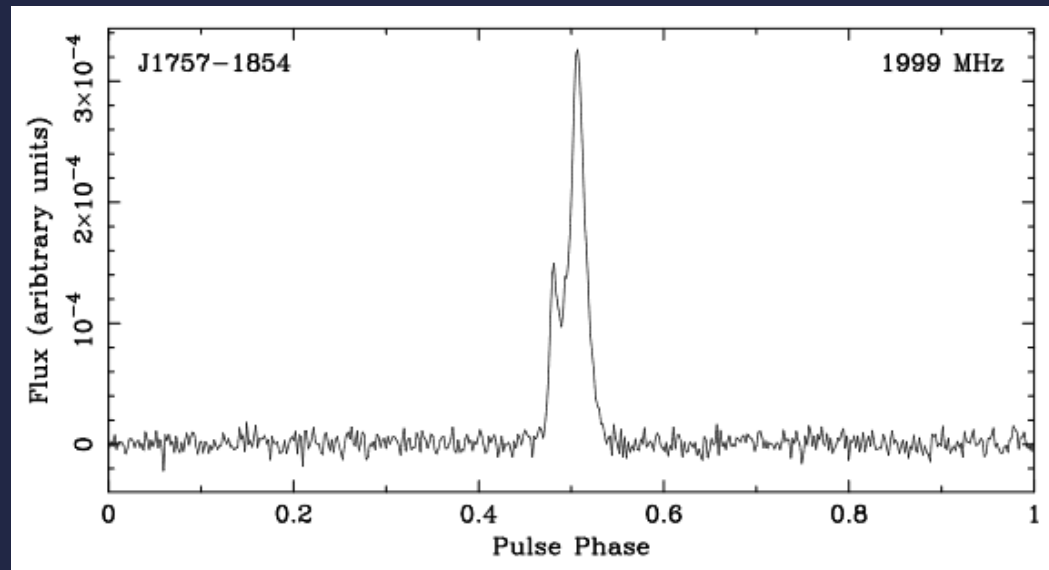
PSR J1757–1854

Миллисекундный (21.5 мсек) пульсар  
в паре с другой нейтронной звездой.

Массы 1.34 и 1.39 масс Солнца.

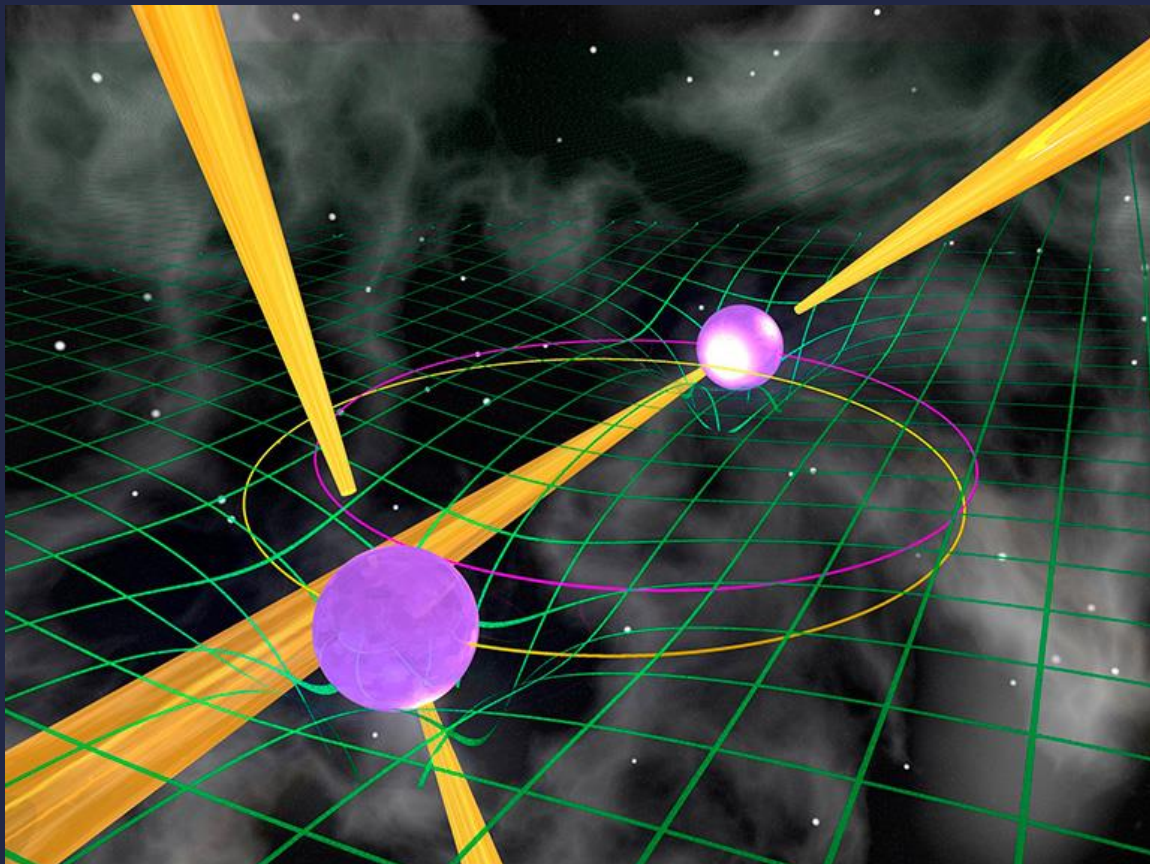
Орбитальный период 4.4 часа.

Слияние через 76 млн. лет.



# Куда вращается пульсар?

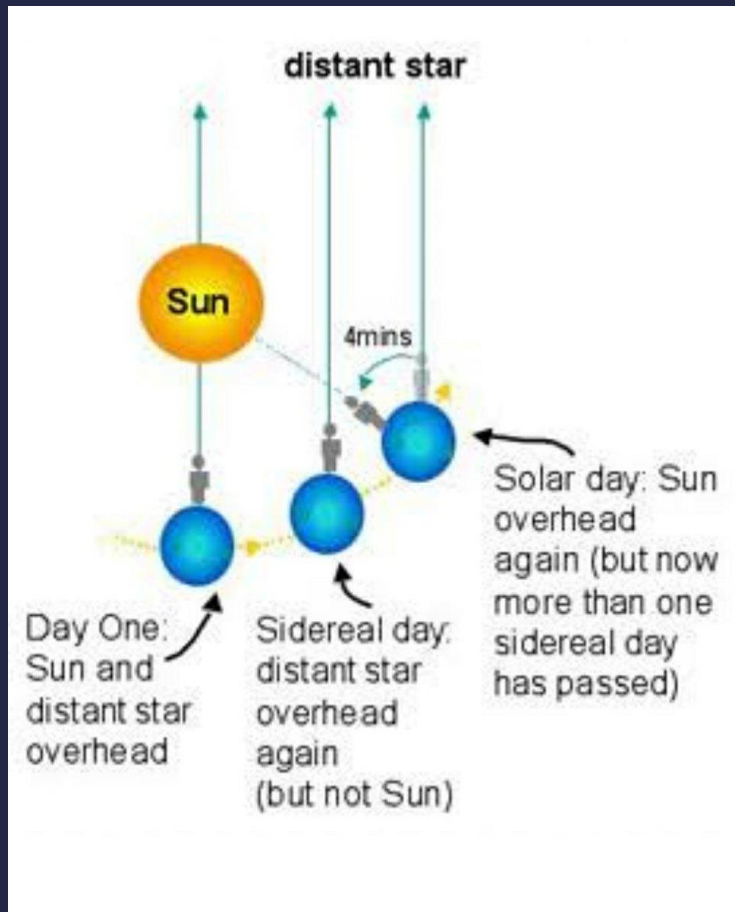
PSR J0737–3039 – двойной пульсар



Впервые удалось определить в какую сторону вращается пульсар.

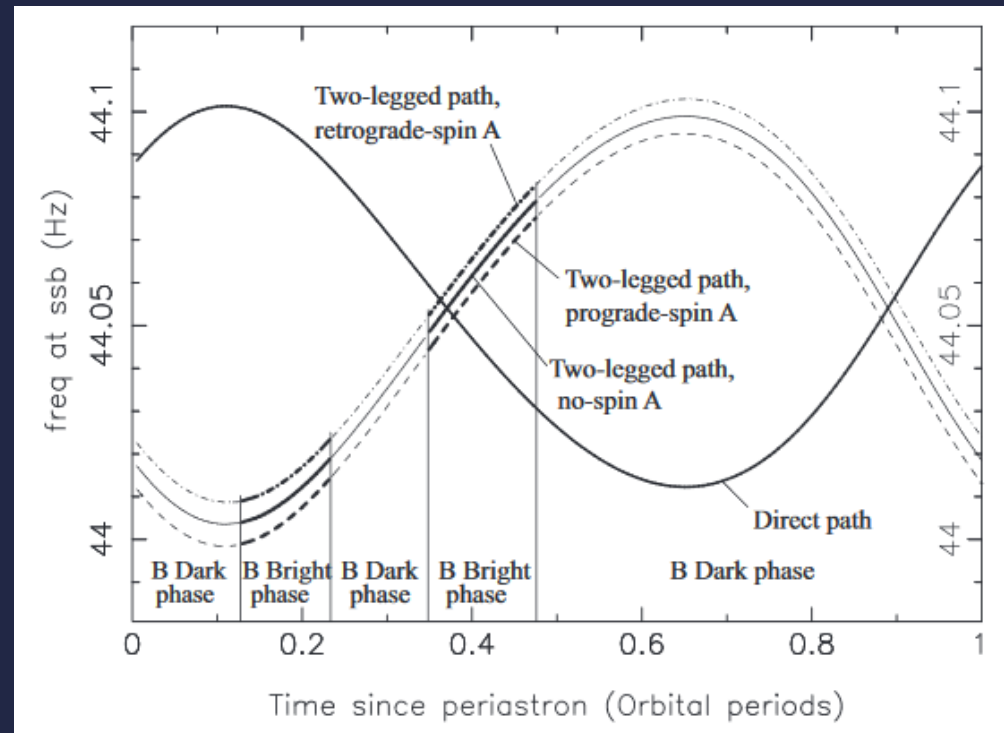
Оказалось, что ось собственного вращения направлена туда же, куда и орбитальная.

# Солнечные и звездные сутки



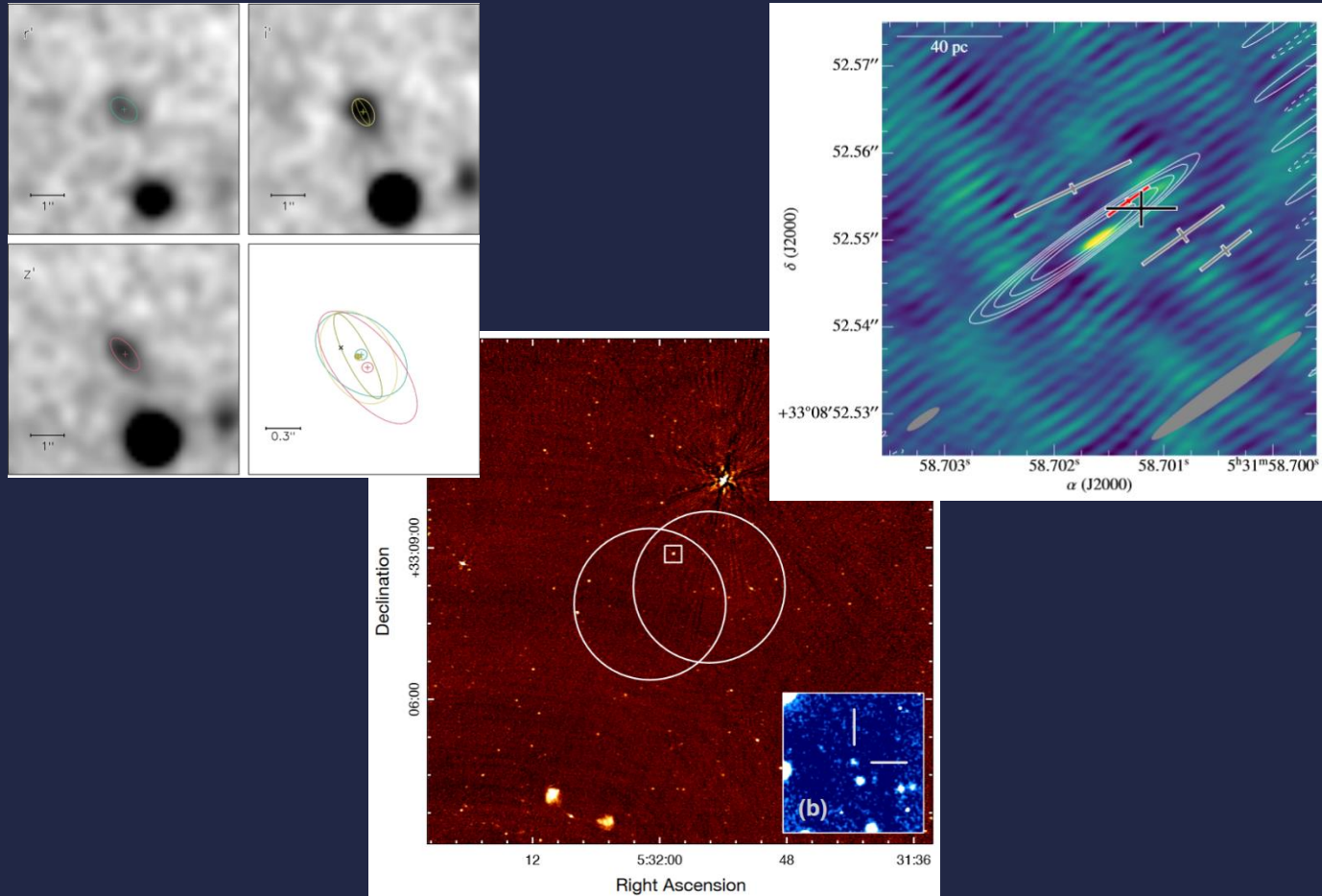
Идея впервые была описана в статье 1402.0523.

Ситуация аналогичная солнечным и звездным суткам на Земле.

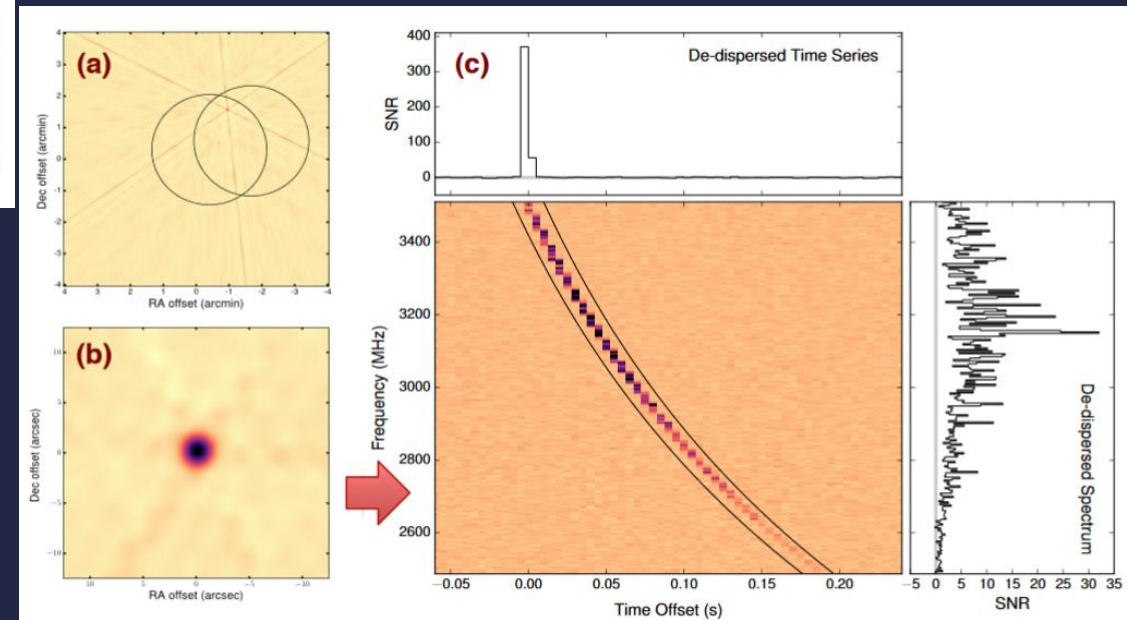


1402.0523

# Галактика FRB

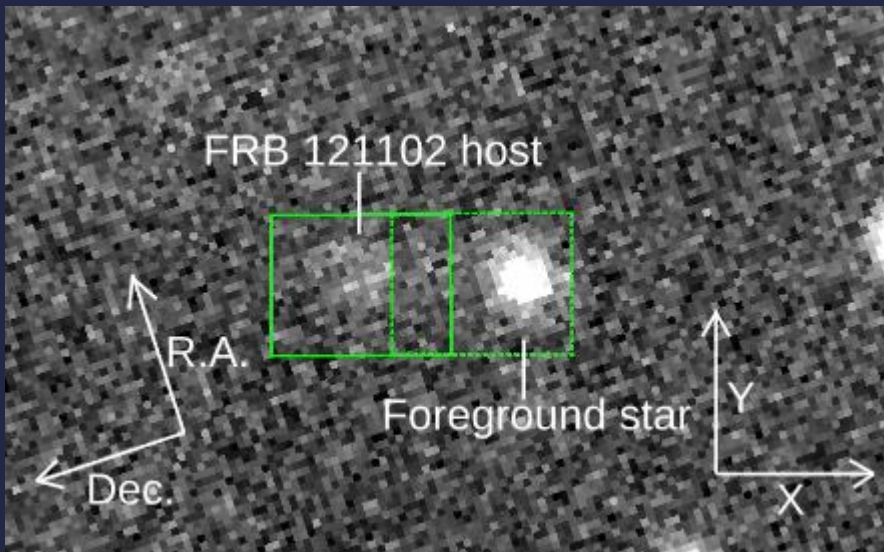


Для повторного источника FRB 121102 удалось отождествить материнскую галактику. Это карликовая галактика с высоким темпом звездообразования на  $z \sim 0.2$  (1 Гпк).



1701.01098, 1701.01099, 1701.01100

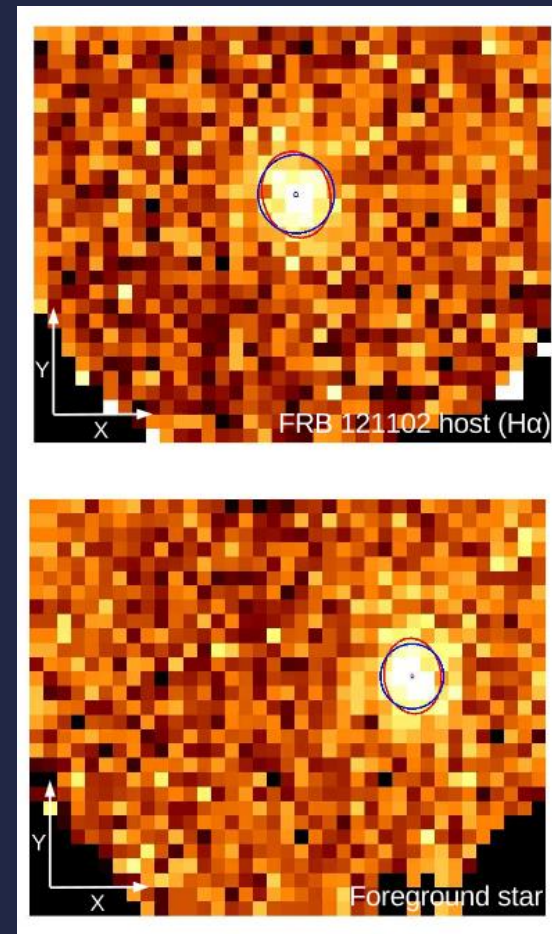
# Излучения H-alpha в галактике FRB 121102



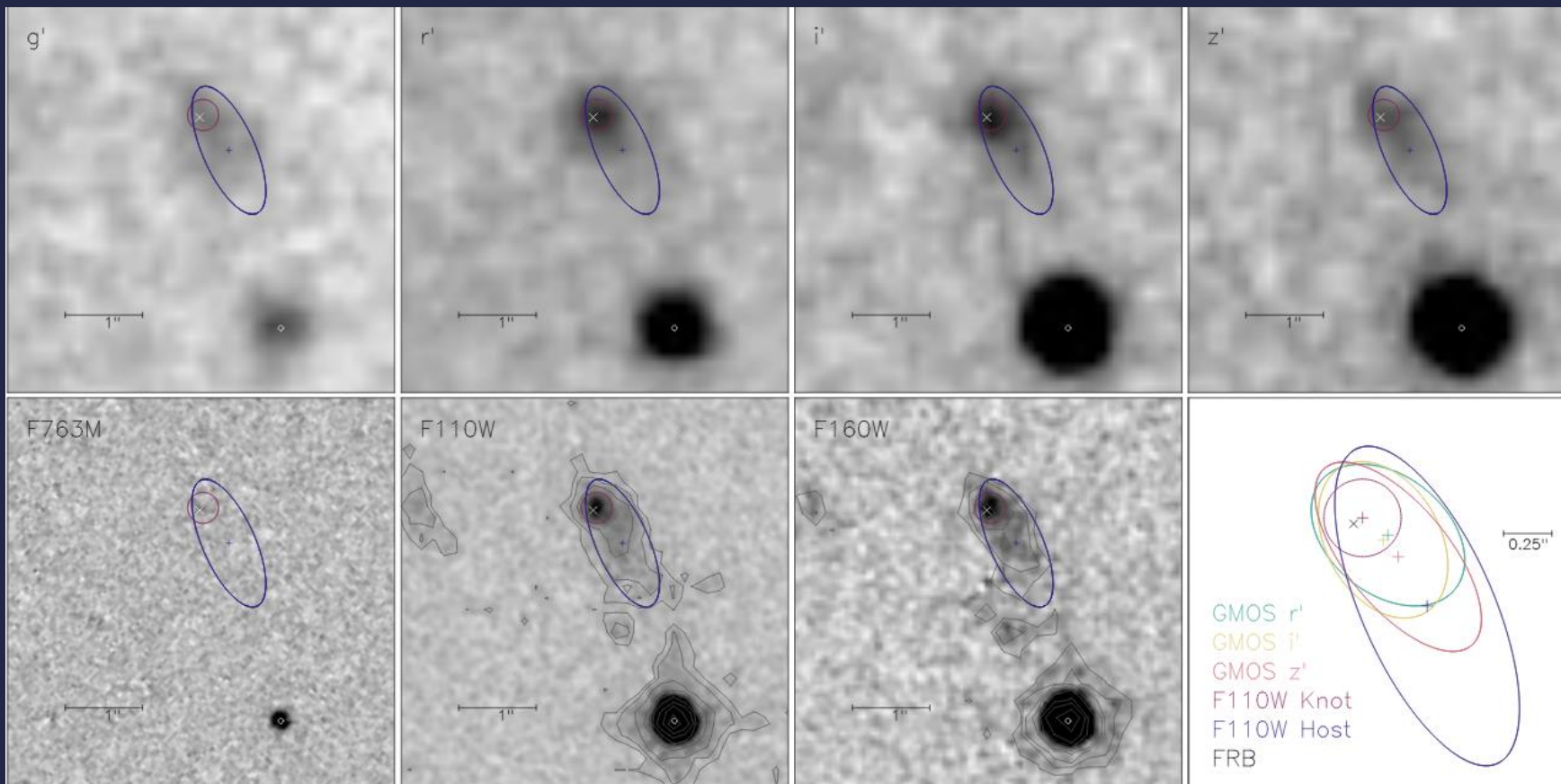
Изображение на Кеке.  
Прямоугольники показывают области,  
наблюдавшиеся на Субару.

Совпадение положения FRB  
с областью H-alpha говорит  
в пользу моделей с  
молодыми нейтронными звездами.

Область H-alpha может давать большой вклад  
в наблюдаемую меру дисперсии источника.



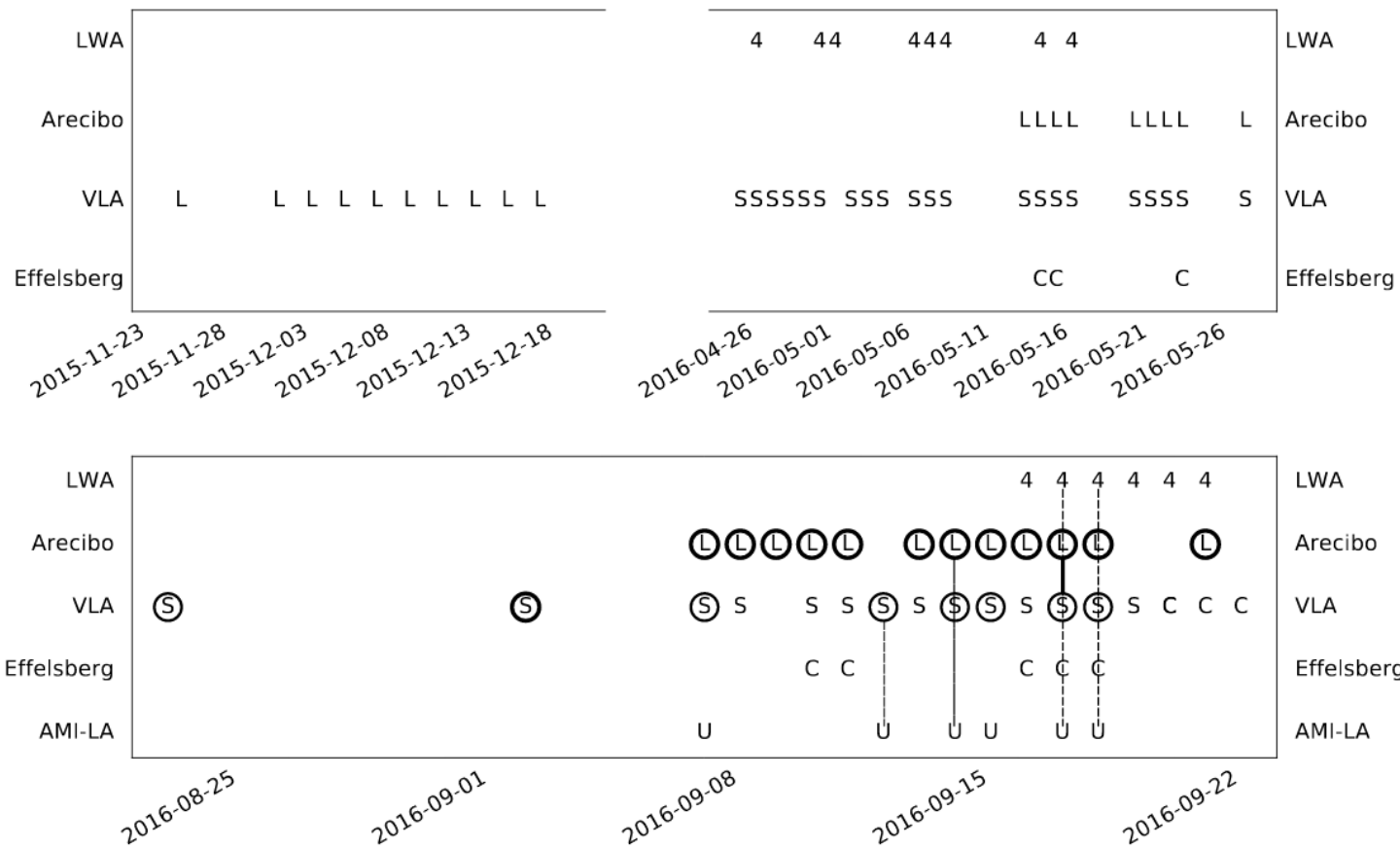
# Область звездообразования и FRB 121102



Gemini, Hubble, Spitzer

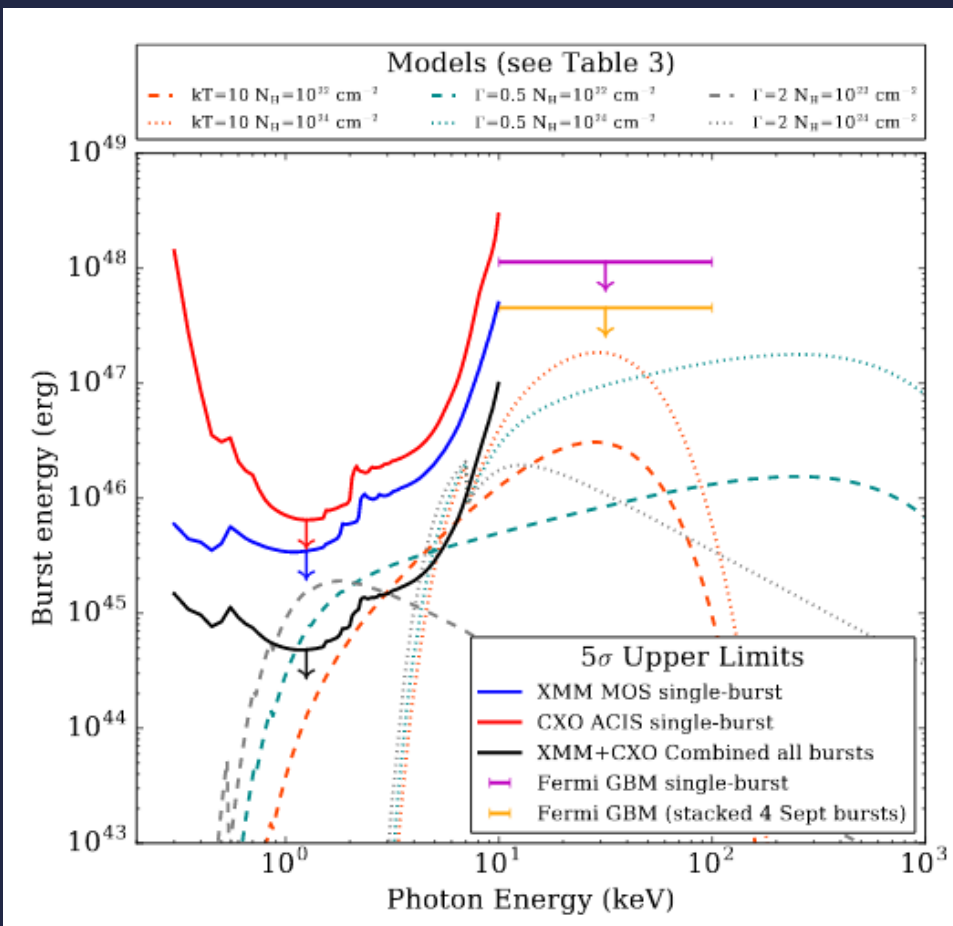
Иррегулярная маломассивная  
малометаллическая галактика.

# VLA, Arecibo и все-все-все

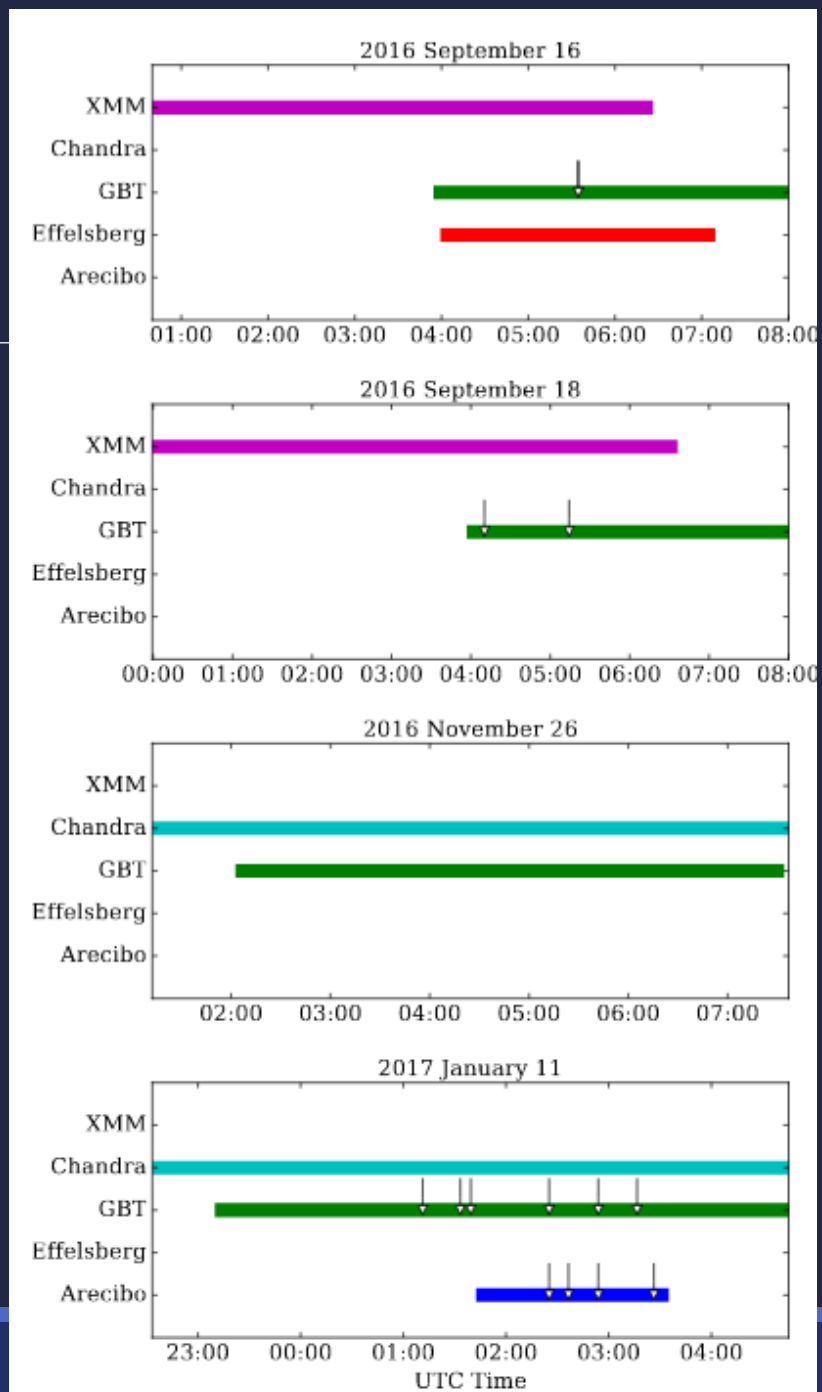


Темп всплесков – раз в несколько часов. Но они могут идти пачками. Одновременная регистрация на VLA и Арецибо.

# Одновременные наблюдения в радио и рентгене



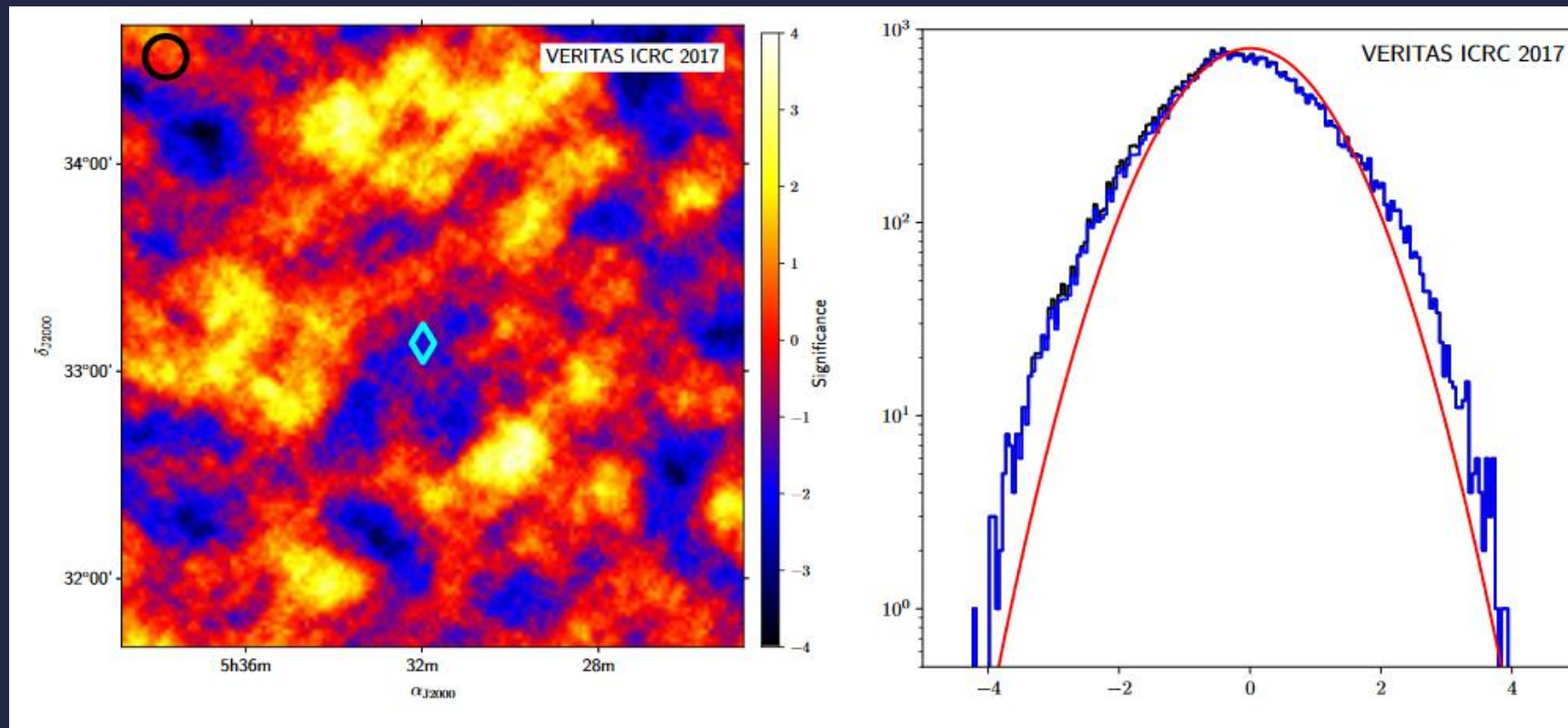
1705.07824





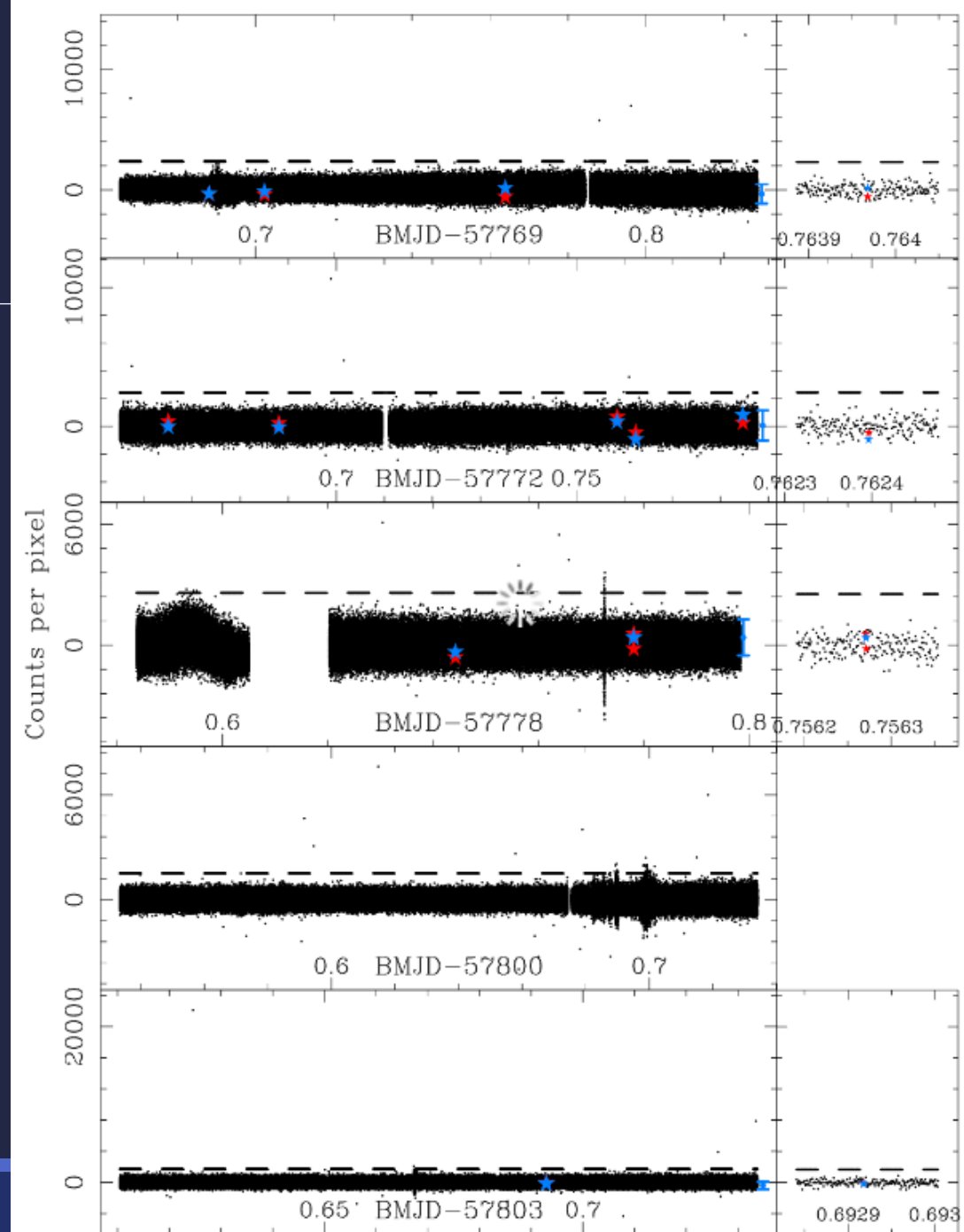
# Наблюдения FRB 121102 на VERITAS

За >10 часов чистого времени наблюдений сигнал не обнаружен.  
Сигнал выше 1 TeV должен отсутствовать из-за EBL.



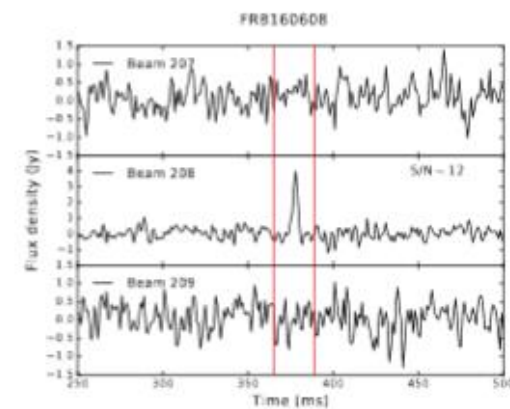
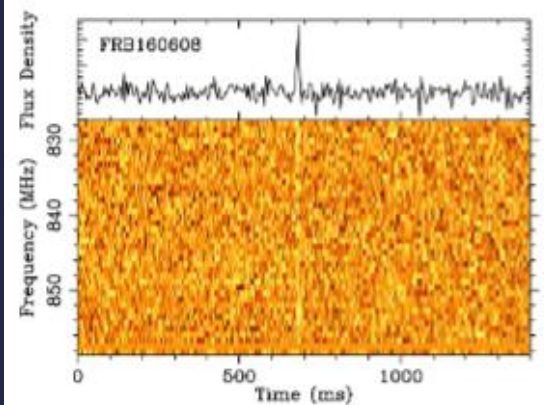
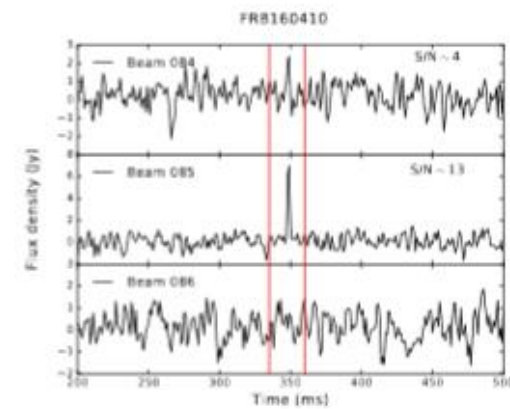
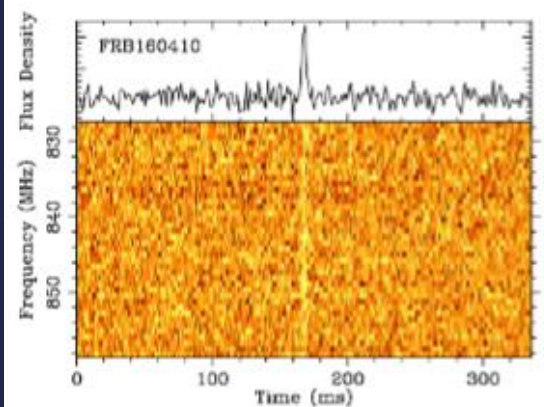
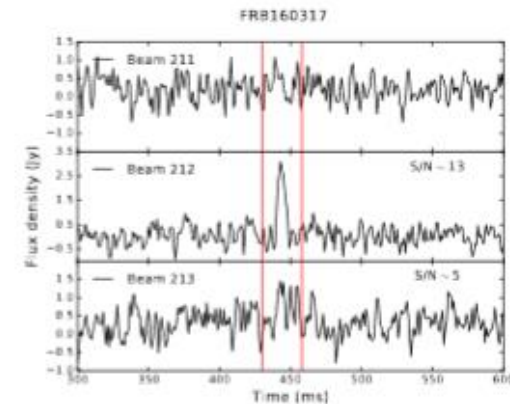
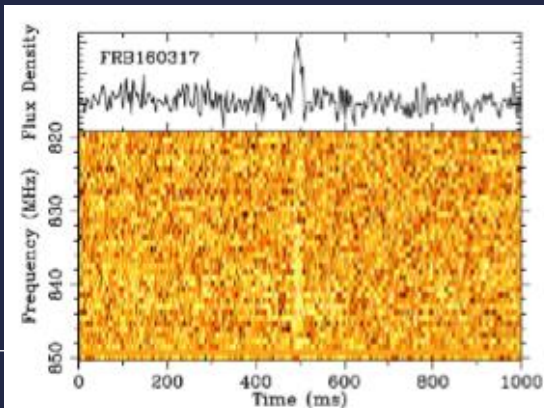
# Отсутствие оптических вспышек от FRB121102

Одновременные наблюдения в радио  
(100-м Эффелсберг) и на 2.4-м в оптике.  
13 всплесков в радио. В оптике - ничего.

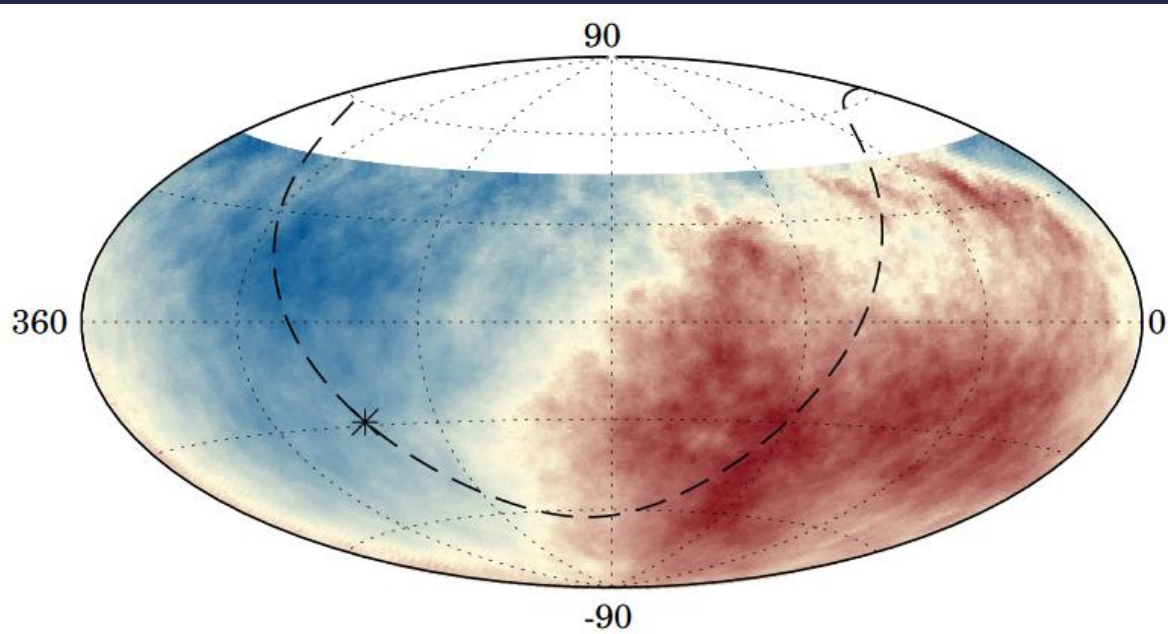


# Первые результаты UTMOST

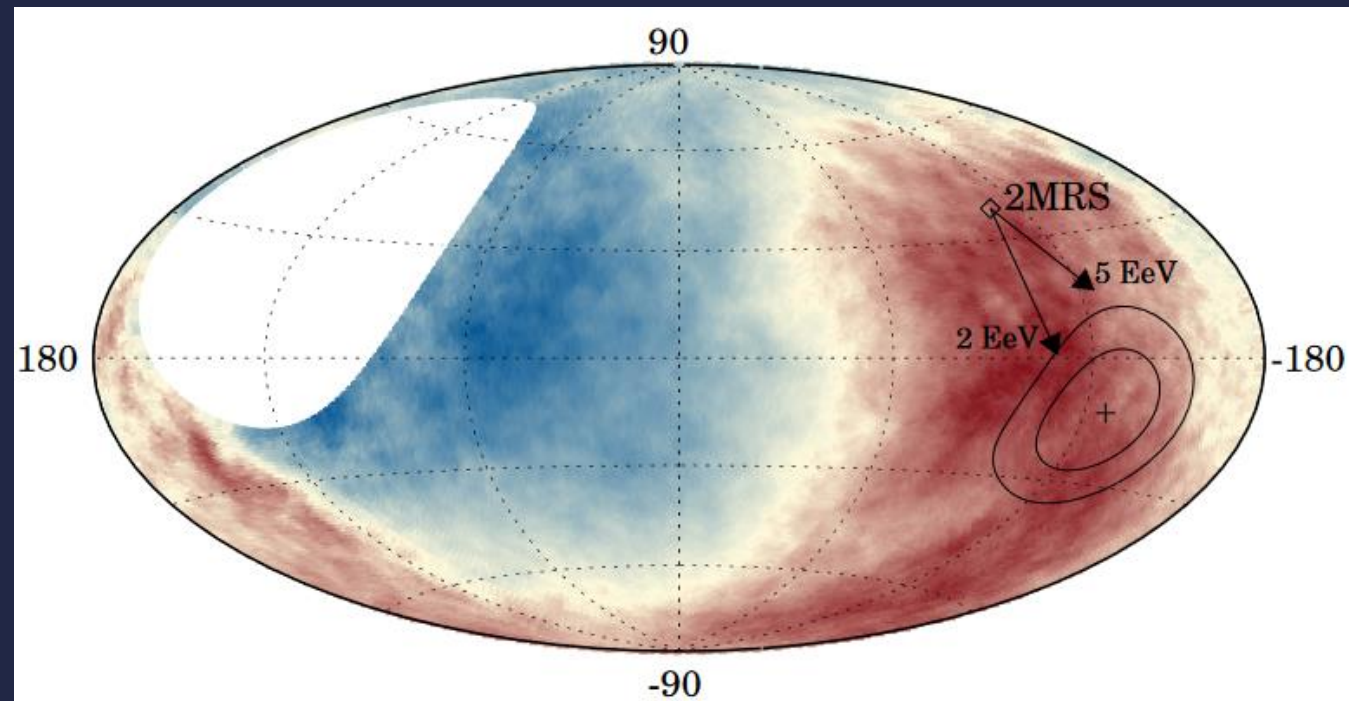
843 МГц.  
Три всплеска за 180 дней наблюдения.  
Повторов нет.



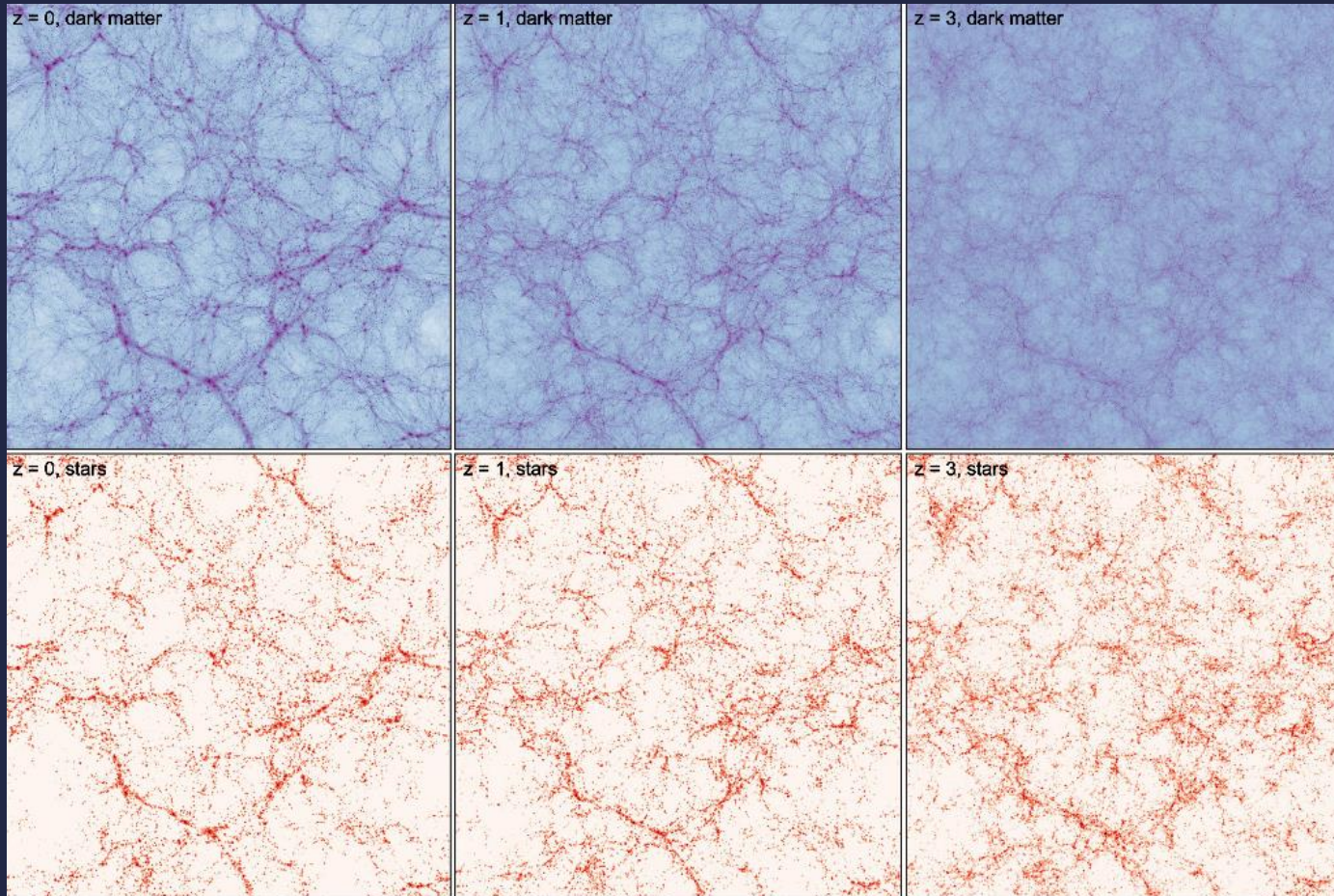
# Анизотропия космических лучей сверхвысоких энергий



Обсерватория Оже обнаружила анизотропию в направлениях прихода космических лучей на энергиях  $>8 \cdot 10^{18}$  эВ.



# IllustrisTNG

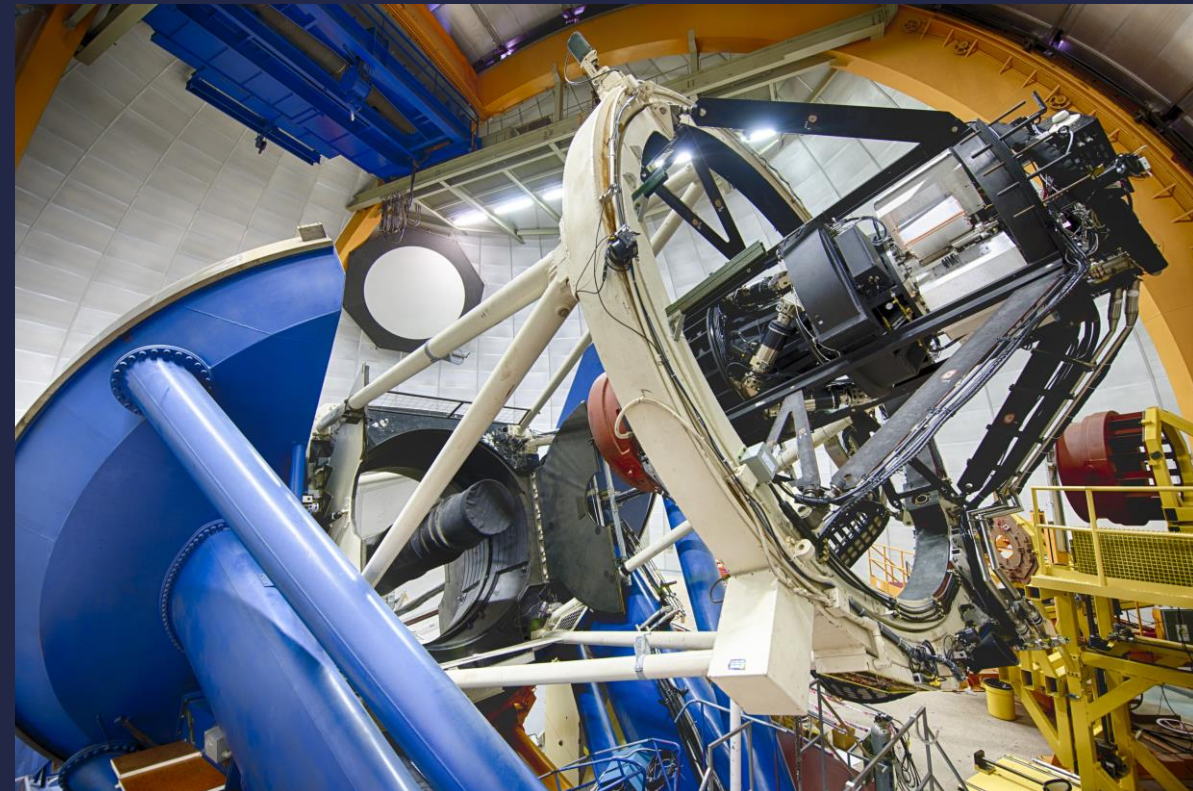


Новые расчеты IllustrisTNG проведены для большего объема, что позволяет исследовать особенности крупномасштабного распределения темного вещества и барионного вещества.

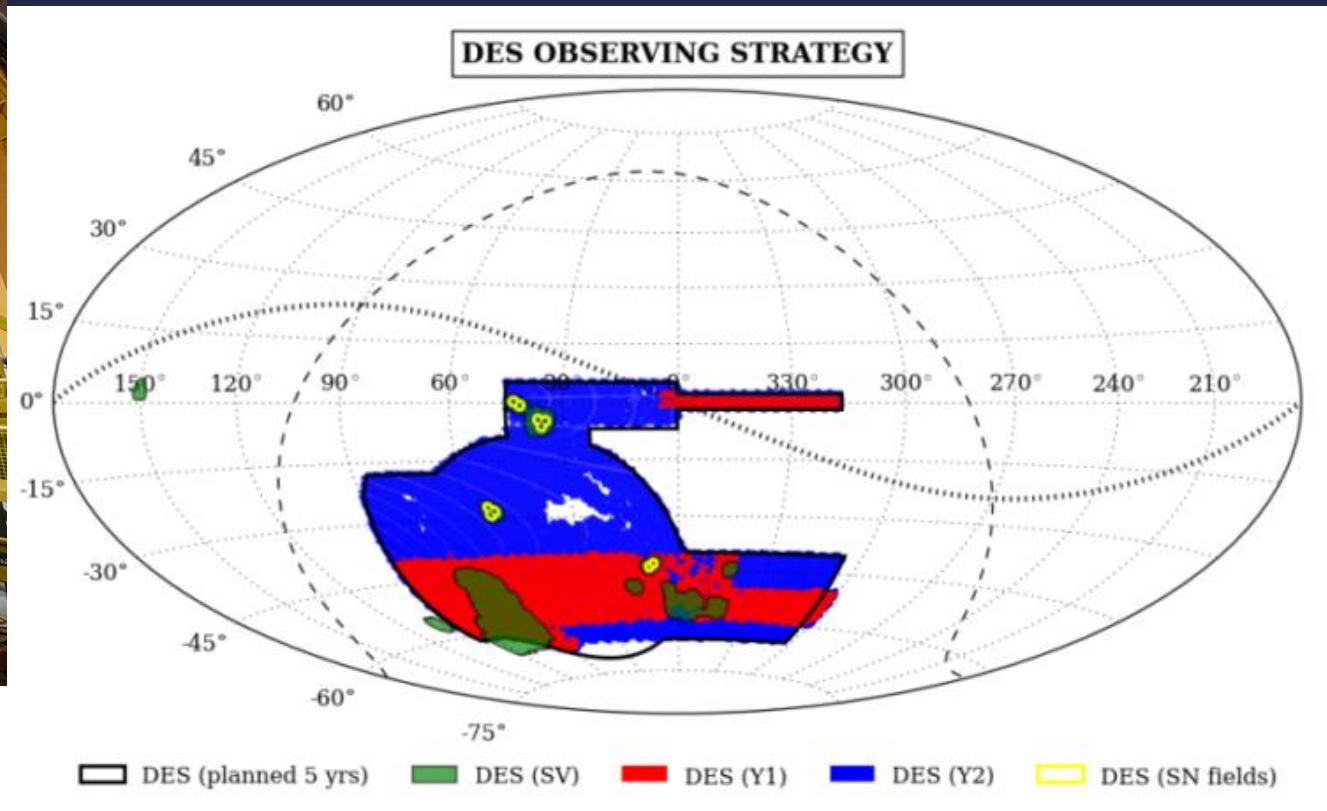
А коллаборация EAGLE выпустила новый релиз своих данных 1706.09899.

# Dark energy survey

5000 квадратных градусов (>10% неба)

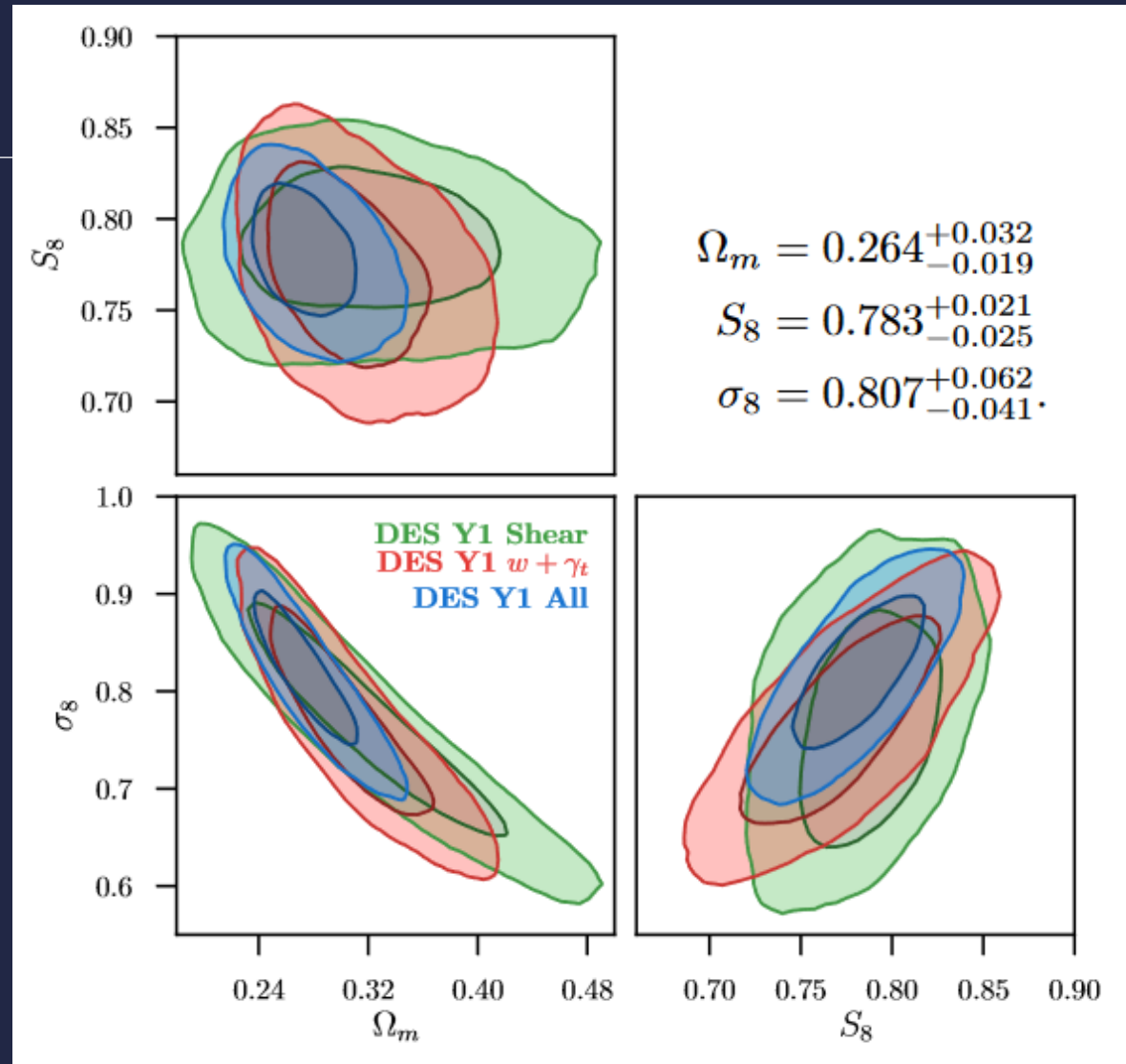


4-метровый телескоп в Чили  
520 мегапикселей



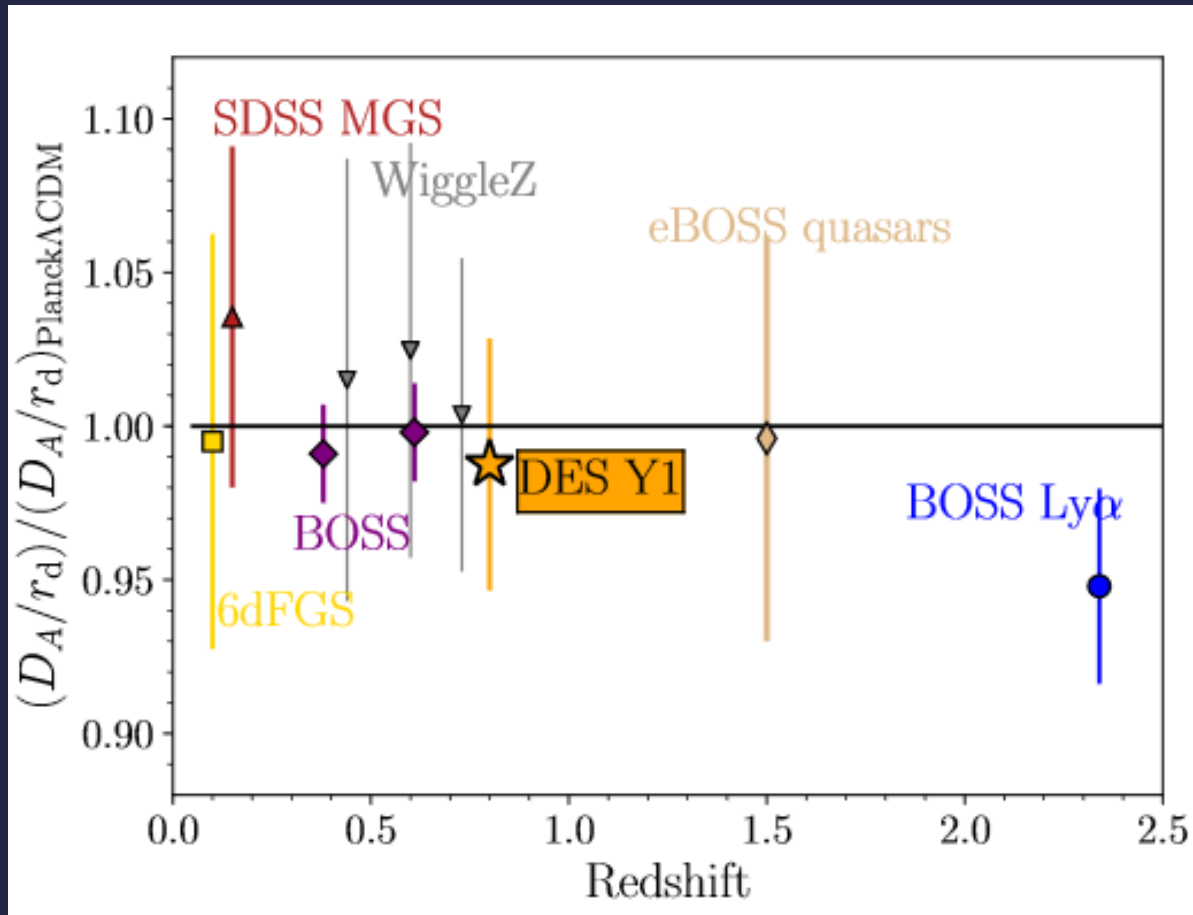
# Ограничения на космологические параметры

Результаты наиболее хорошо могут ограничить плотность вещества и параметры, характеризующие неоднородность распределения вещества.



$\Lambda$ CDM

# Измерение углового расстояния

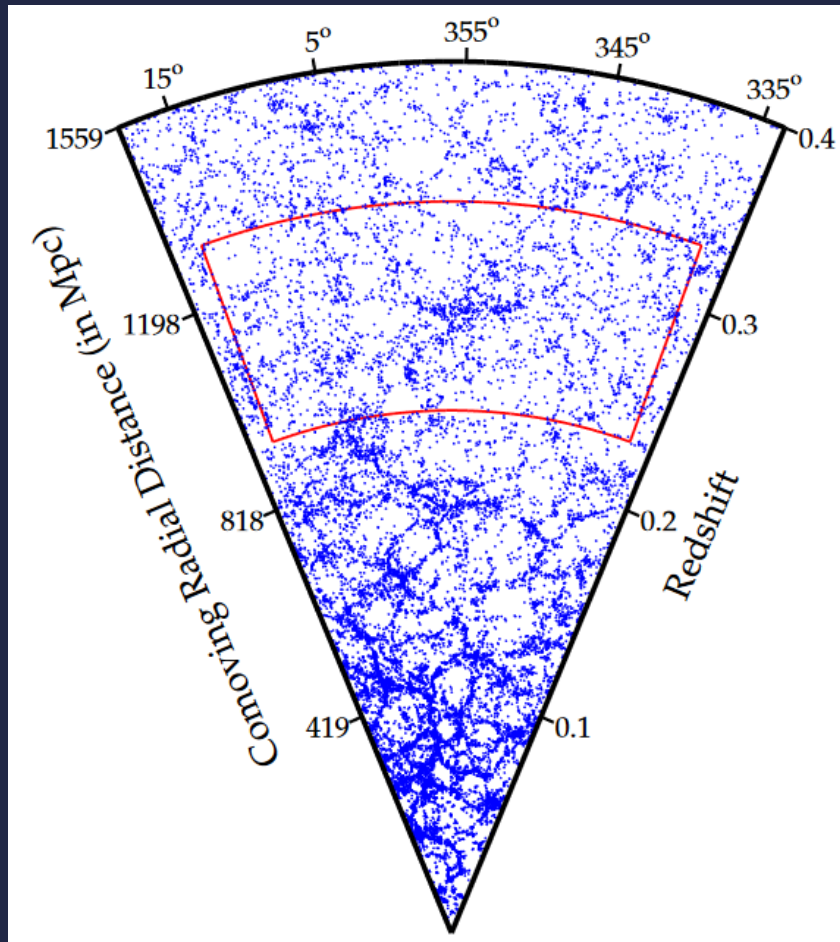


Барионные акустические осцилляции.

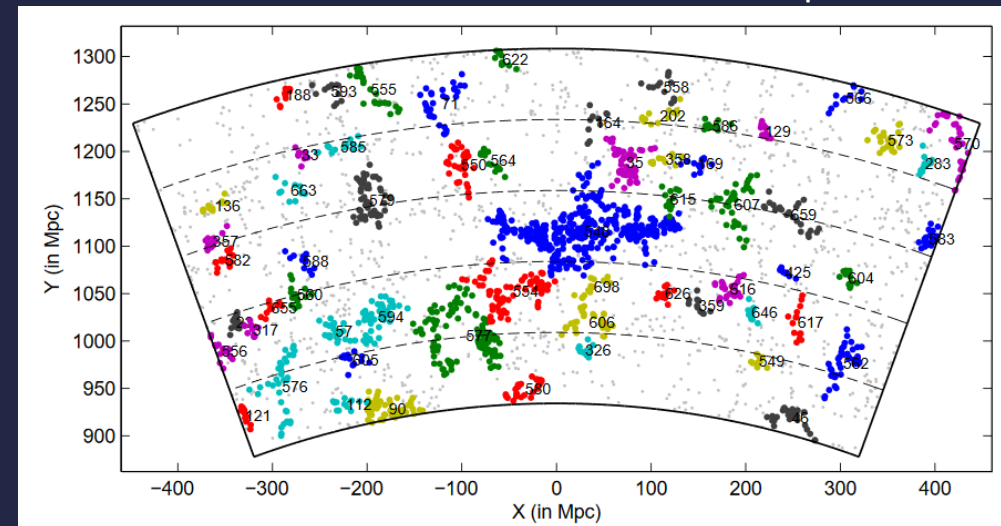
1.3 млн галактик на >1300 квадратных градусах.



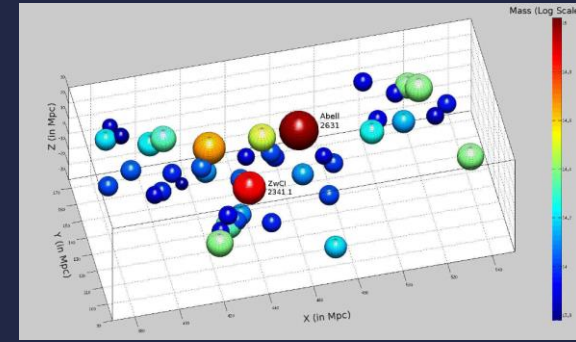
# Сарасвати – сверхскопление галактик



По данным Слоановского цифрового обзора неба (SDSS) обнаружена гигантская структура на  $z \sim 0.3$ . Масштаб образования - около 200 мегапарсек. Это очень массивное сверхскопление галактик. Оно получило имя Сарасвати. В него входит 43 массивных скопления галактик. Полная масса около  $2 \times 10^{16}$  масс Солнца.

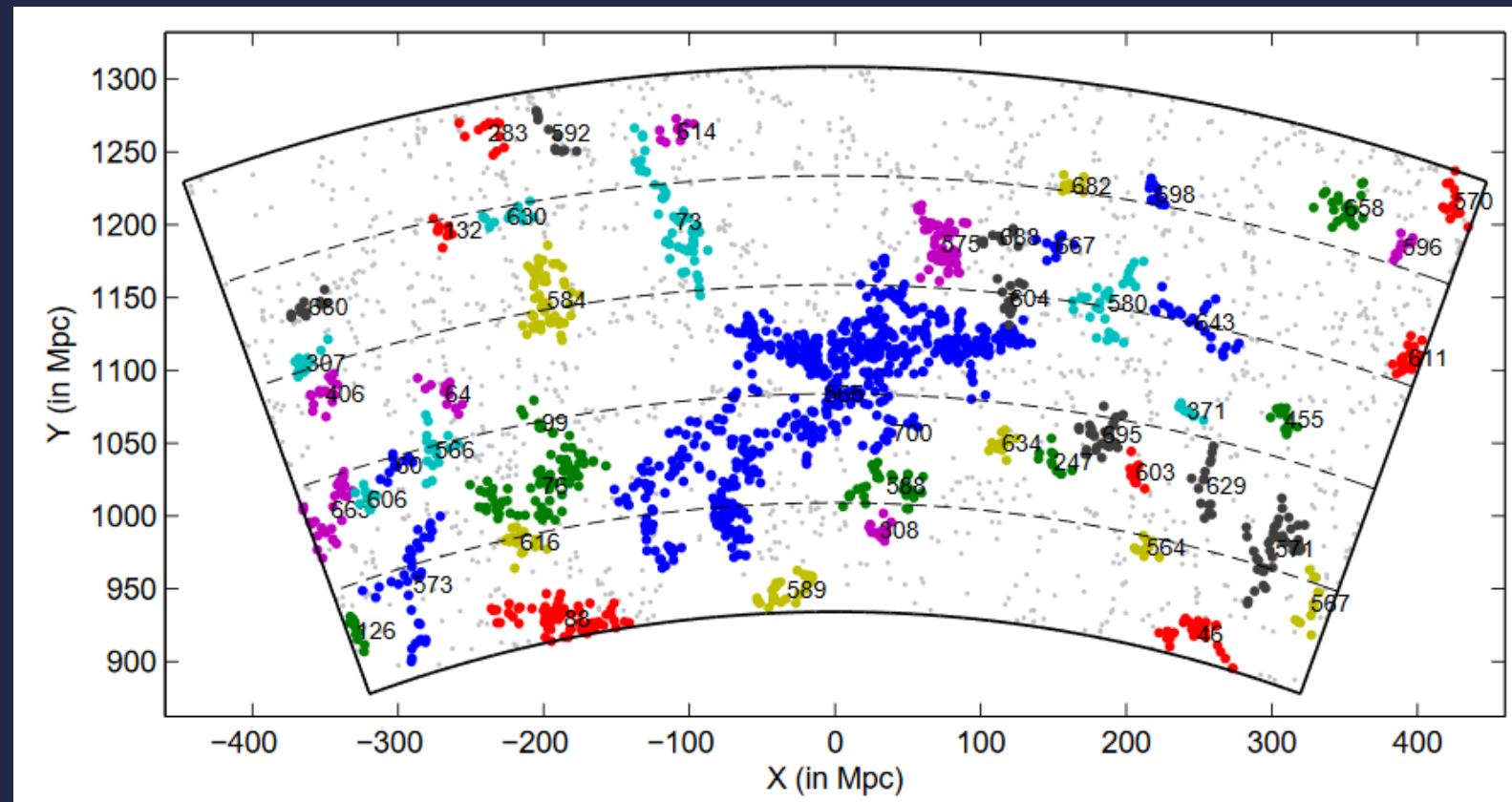


# Сарасвати и окрестности



Сарасвати больше Ланиакеи, но меньше Великой стены BOSS.  
Почти 20 лунных дисков на небе!

С Сарасвати могут быть связаны два филамента.  
Однако в будущем внешние части сверхскопления будут растащены расширением вселенной.  
А центральная часть продолжит коллапсировать.



# Планы на 2018



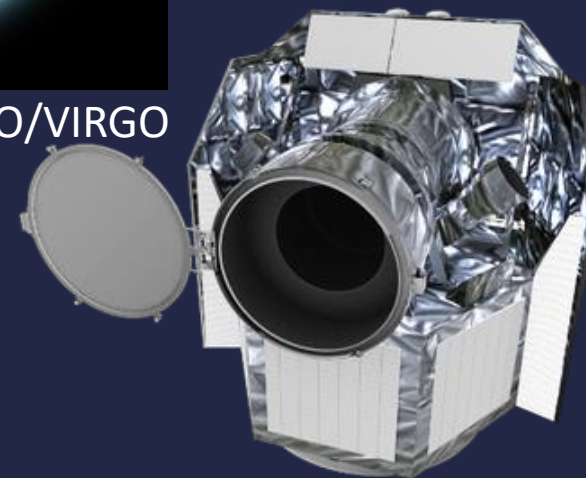
Запуск TESS



Работа FAST



Совместная работа LIGO/VIRGO



Запуск CHEOPS