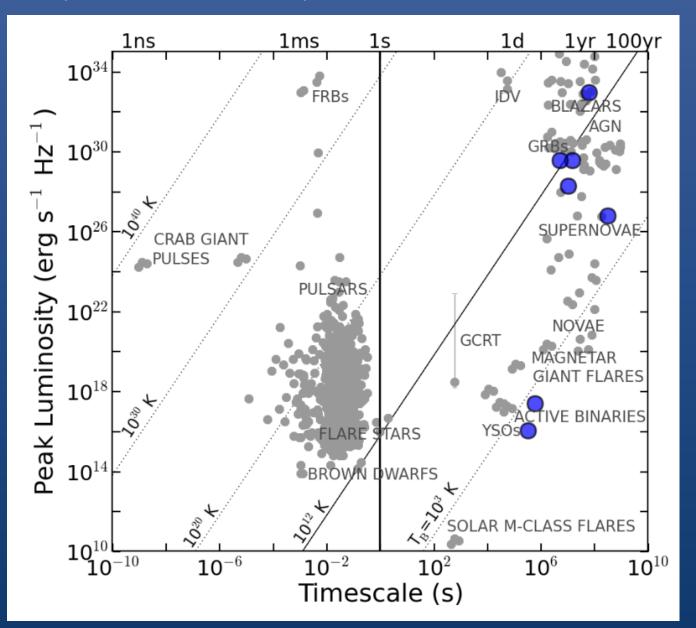


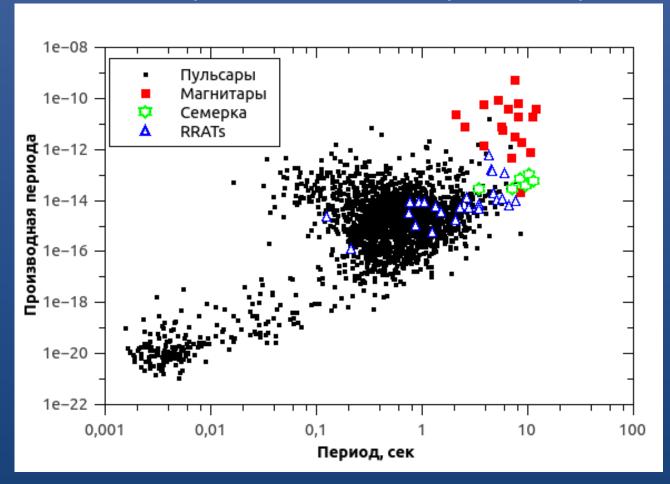
План доклада

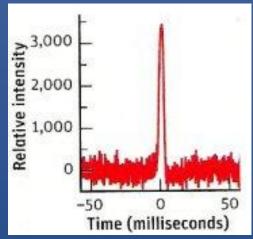
- 1. Развитие технологии. Открытие RRATs (2006)
- 2. Лоример и др. (2007)
- 3. Идеи. GRB2.0
- 4. Поиски новых событий в архивах нулевой результат
- 5. Keane et al. (2012)
- 6. Perytons новый тип всплесков?
- 7. Thornton et al. (2013)
- 8. Идеи: 2013-2014
- 9. Perytons микроволновки. Petroff et al. (2015)
- 10. FRB в реальном времени. Petroff et al. (2015)
- 11. Новые данные (темп, архивы и тп.)
- 12. Повторные всплески и возможная идентификация
- 13. Модели (космология и тп.)
- 14. Магнитарная модель «на коне» или?
- 15. Будущее (SKA, FAST)

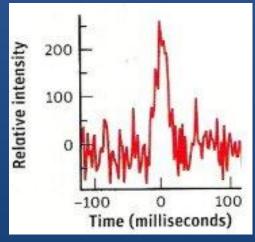
Транзиенты в радиодиапазоне



RRATs – Вращающиеся радиотранзиенты



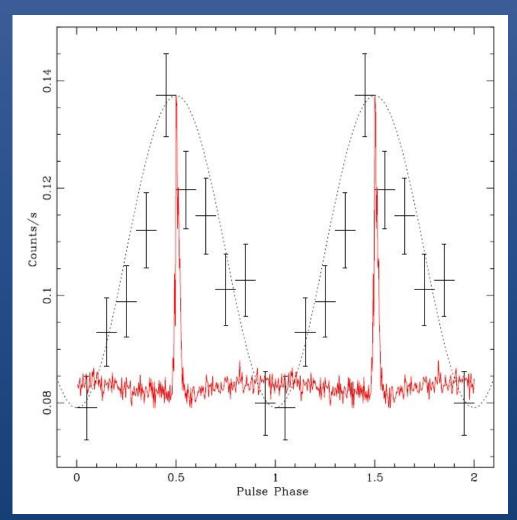


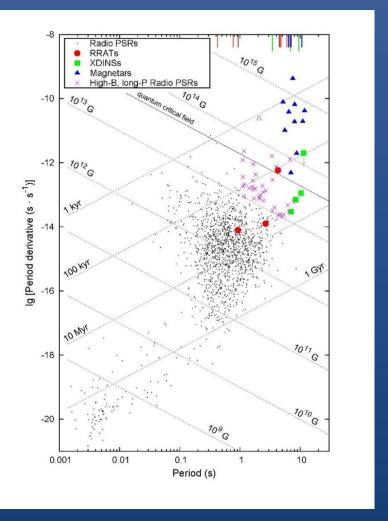


Открыты в 2006 году, см. astro-ph/0511587.

Миллисекундные радиовсплески нейтронных звезд. Удалось измерить период вращения и его производную. Причины всплесков не известны до сих пор.

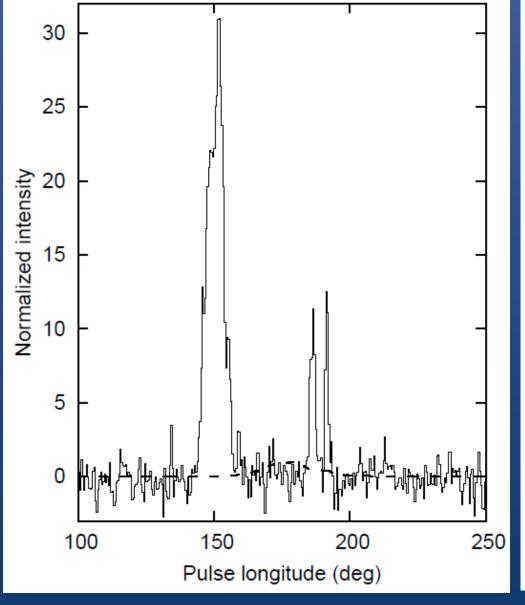


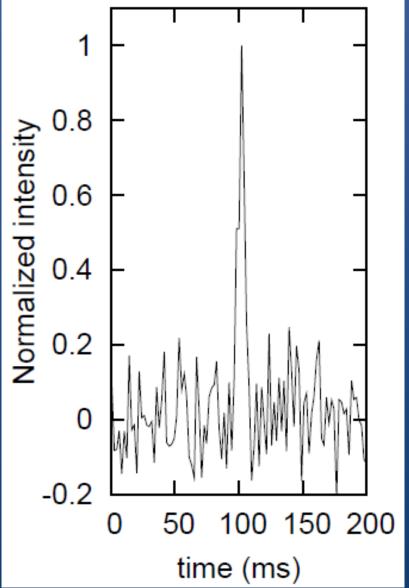




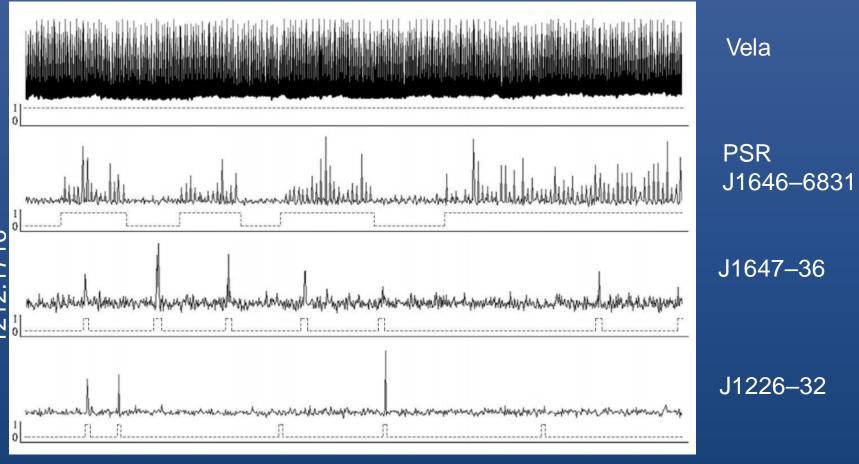
Один из источников был обнаружен в рентгеновском диапазоне, и его свойства оказались похожими на свойства Великолепной семерки.

Всплески пульсара В0656+14



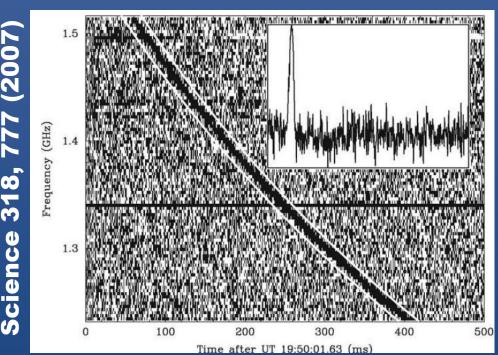


RRAT — это пульсары?



Сейчас считается, что всплески RRATs – это форма магнитосферной активности. Похожие всплески есть у радиопульсаров, и провести резкую границу между ними очень трудно.

Миллисекундные радиовсплески



Одно из самых интересных открытий 2007 г.

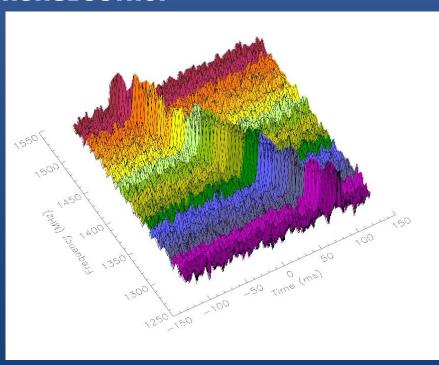
В направлении всплеска не были видно вспышек в других диапазонах.

Идентифицировать источник не удалось.

[О том, как не перепутать RRAT и FRB, см. 1512.02513]

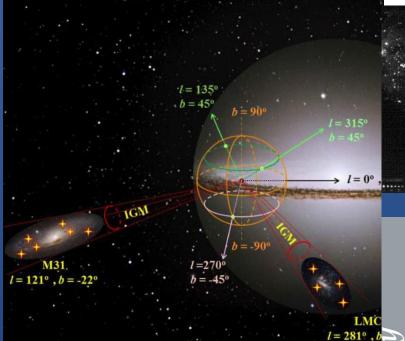
Открыты в 2007 году.

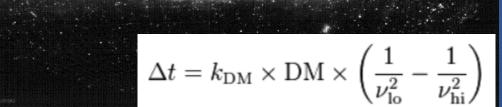
Происхождение неизвестно.



Большая мера дисперсии. Если дисперсия набирается на межгалактической среде, то светимость в радио ~10⁴³ эрг/с

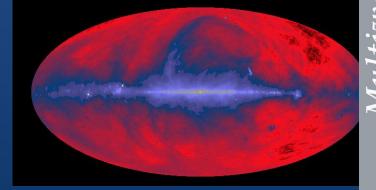
Мера дисперсии



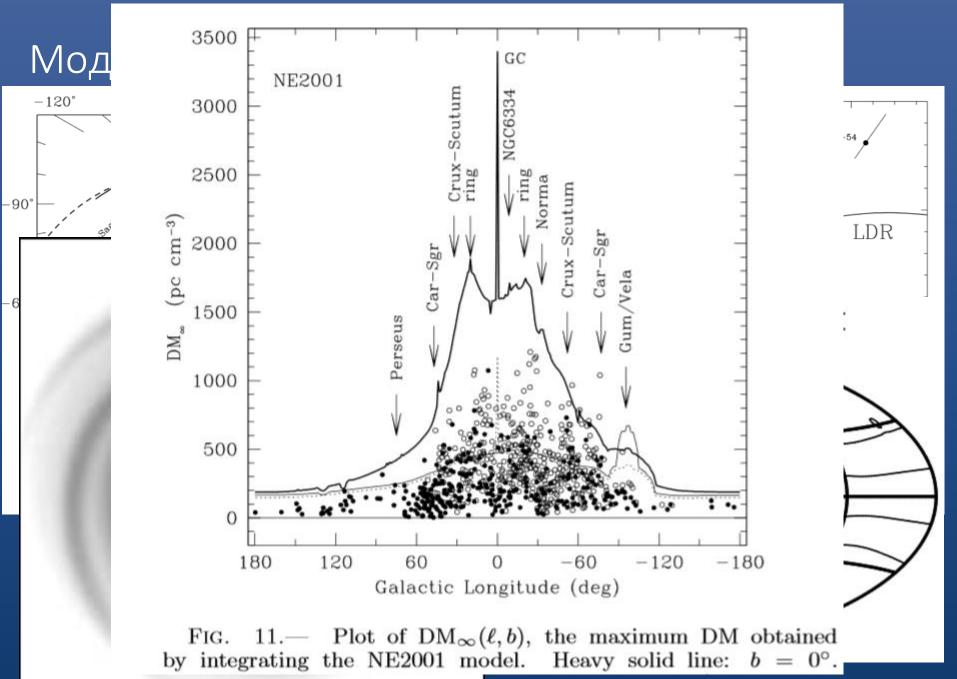






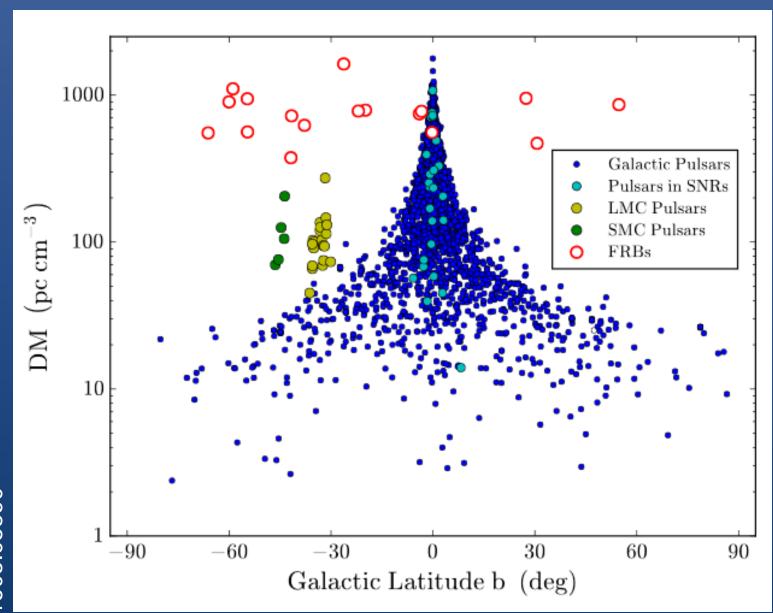






astro-ph/0207156

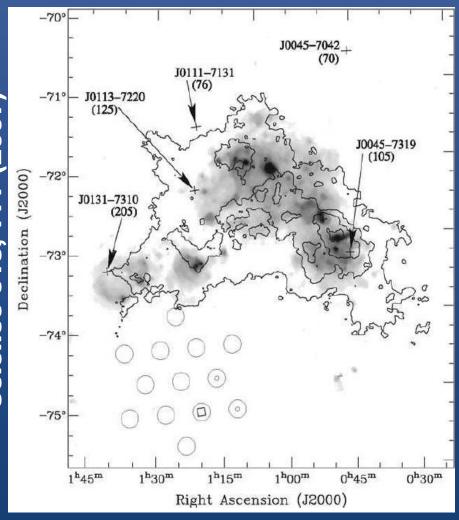
Сравнение с пульсарами



1605.05890

Science

Первый всплеск



$$\mathcal{L} = 1.3 \times 10^{41} \text{erg/s} \left(\frac{S_{\nu}}{1 \text{ Jy}}\right) \left(\frac{\Delta \nu}{1.4 \text{ GHz}}\right) \left(\frac{\Omega}{1 \text{ sr}}\right) \left(\frac{D}{1 \text{ Gpc}}\right)^{2}.$$

Открыт в Парксе Дунканом Лоримером и др.

~30-40 Ян, < 5 мсек.

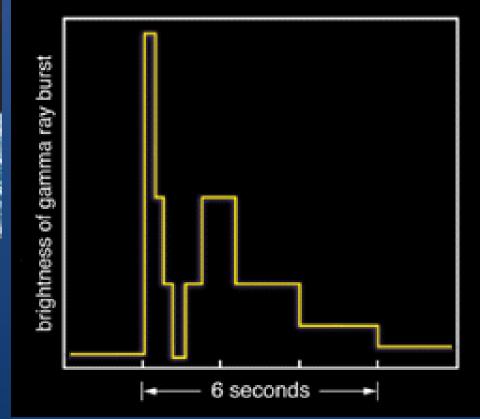
3 градуса от Малого Магелланового Облака



История повторяется? GRB2.0?

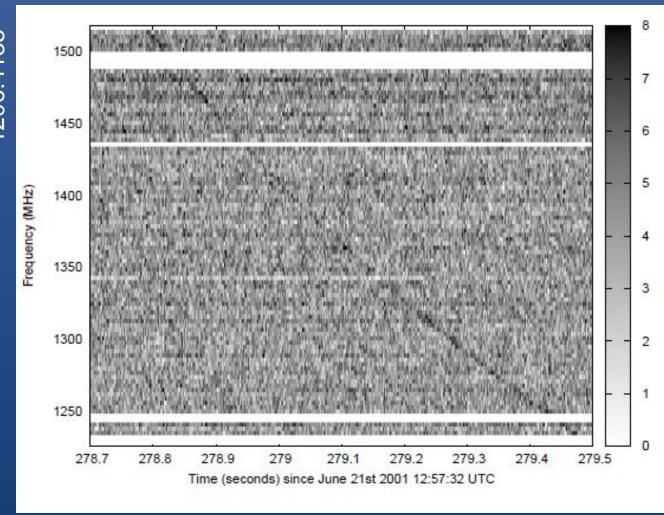
Только в конце 90-х гг. удалось одновременно увидеть всплески и в рентгеновском диапазоне. Это позволило наконец-то идентифицировать их.

В конце 60 гг. были открыты космические гамма-всплески. 30 лет они оставались загадкой, т.к. в направлении всплеска не удавалось увидеть сигнал в другом спектральном диапазоне.



nttps://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/ /vu/overview/bursts/firstbst/firstbst.htm

Второй случай?



В плоскости Галактики.

Гипотеза: испарение черной дыры!

Радиовсплески от испаряющихся черных дыр были предсказаны уже давно. Более того, одной из мотиваций ученого, создавшего ключевую технологию Wi-Fi, было открыть в радио такие вспышки

Т.к. всплеск отличался от лоримеровского, то ясности в ситуацию с быстрыми радиовсплесками это не внесло.

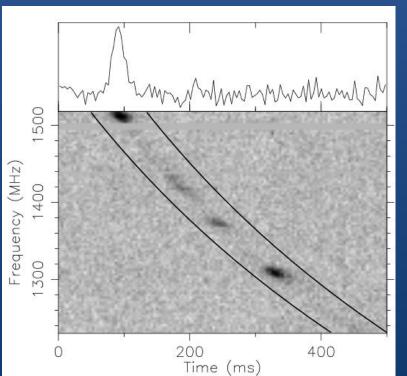
Perytons

1009.5392

Перитоны начали активно обсуждать несколько лет назад. Их свойства сразу говорили о том, что это должны быть всплески где-то вблизи (максимум – земная атмосфера).

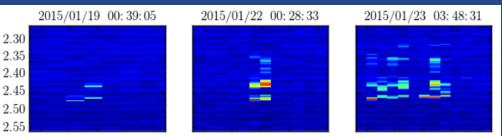
Однако по некоторым параметрам они похожи на БРВ.

Появлялись они только в рабочие часы или по выходным, что указывало на искусственное происхождение.



ло зарегистрировано их событий.

Всего на 2015 год было зарегистрировано около полусотни таких событий. Все на телескопе Parkes.



Решение проблемы перитонов оказалось довольно неожиданным. Здесь помогла установка новой Системы мониторинга помех.

Сомнения

Открытие перитонов заставило усомниться в реальности события Лоримера.

Быстрые радиовсплески открывались только по архивным данным.

Поиск в разных архивах в течение нескольких лет не давал результатов – новых примеров быстрых радиовсплесков не было.

Даже теоретики притихли



Миллисекундные радиовсплески

В 2007 г. был обнаружен первый всплеск. Но пока он был один – были сомнения. В 2012 – еще один, но сомнения остались.

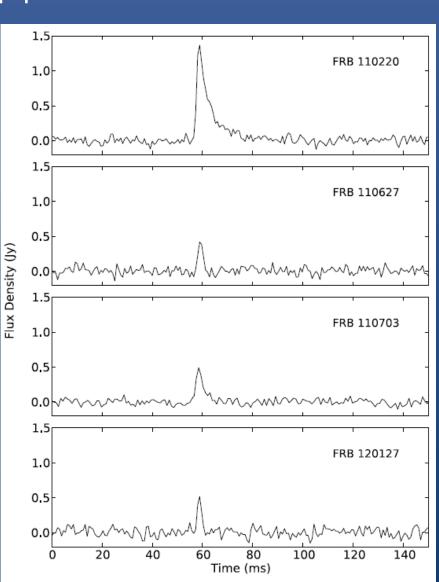
В 2013 – сомнения долой! Еще четыре!

Темп ~ неск. тысяч в день на всем небе.

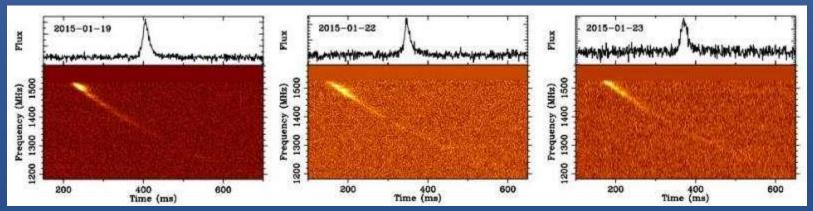
Это явно новый класс событий, происхождение которых неизвестно:

- магнитары
- гамма-всплески
- слияния нейтронных звезд
- сверхновые
- слияния белых карликов
- массивные нейтронные звезды
- вспышки на обычных звездах (?)

Появилось устоявшееся название Fast Radio Bursts



Перитоны – микроволновки!

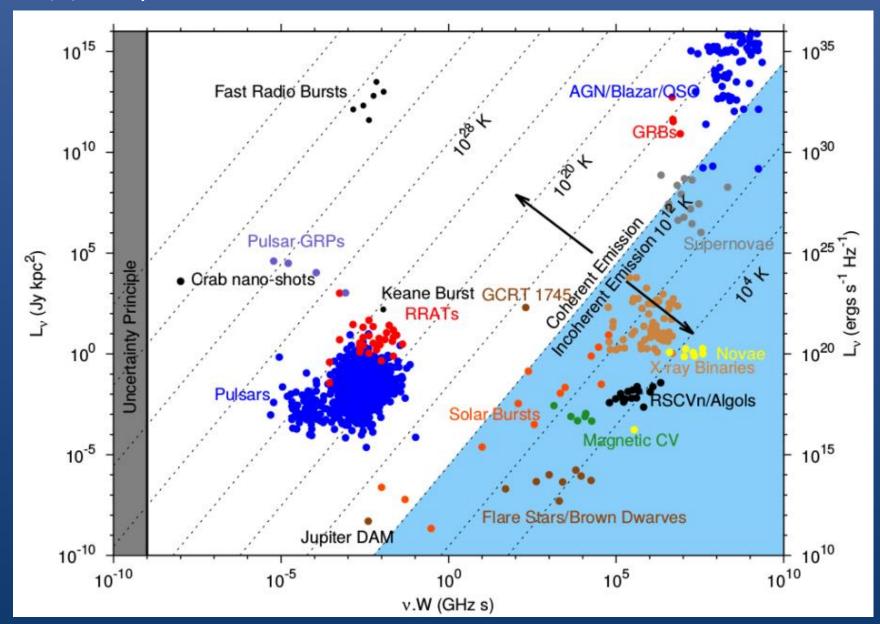




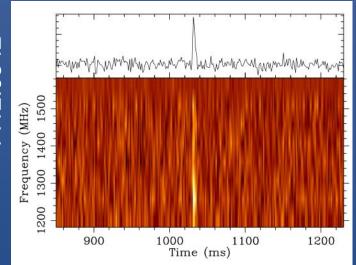
Исследование показало, что перитоны возникают при преждевременном открытии дверцы микроволновки, если телескоп находится в некотором особом положении.

Идентификация источника этих помех сделала еще более надежным представление о том, что сами быстрые радиовсплески – это реальный астрономический феномен.

Радиотранзиенты



Первый всплеск в реальном времени

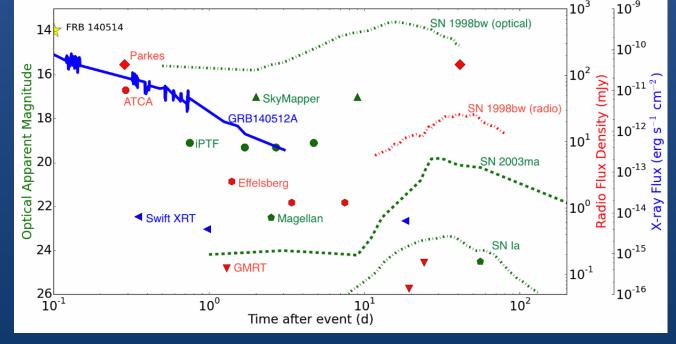


В мае 2014 года впервые удалось увидеть быстрый радиовсплеск в реальном времени. Т.е., он был обнаружен непосредственно при наблюдениях, а не найден в архиве.

Это позволило запустить программу наблюдений в других диапазонах спектра.

К сожалению, ничего не было найдено.

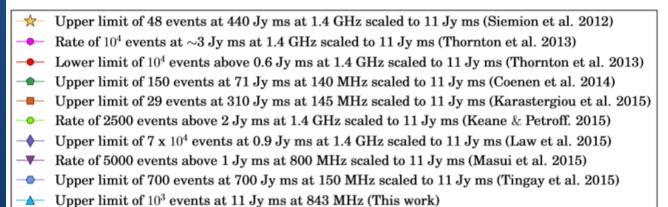
Отсутствие данные в других диапазонах закрывает модель с близкой сверхновой и с длинным гамма-всплеском.



601.02444

Спектры





Практически все всплески были открыты на Парксе.

На Аресибо БРВ также видели на частоте 1.4 ГГц.

Только GBT видел один всплеск на частоте ~800 МГц.

На других частотах данных нет.

Данных из других диапазонов спектра тоже нет.

Поэтому спектр известен плохо.

См., например, 1602.07544

Наблюдения на V-FASTR

Наблюдений на VLBA. Только верхние пределы.

Table 1: Observing parameters for the V-FASTR data as of 24 Feb 2015.

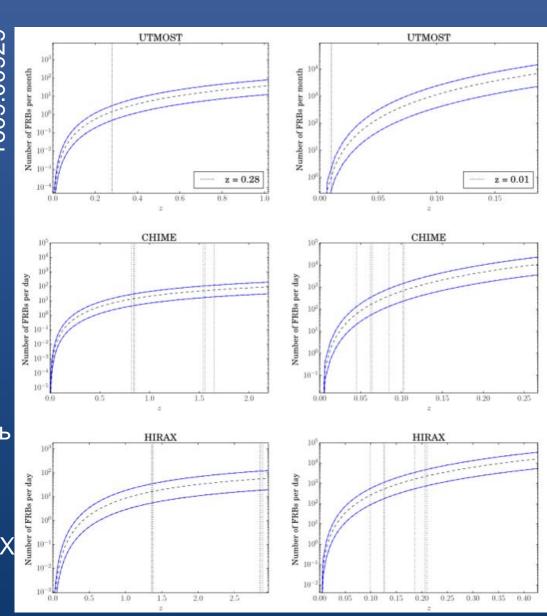
Band	$\langle f_{\rm ctr} \rangle^{\rm a}$	$\mathbf{SEFD}^{\mathrm{b}}$	$\mathbf{SEFD}_{\mathrm{eff}}$	$T_{\rm sys}^{\ c}$		$N_{ m hrs}$
(cm)	(GHz)	(Jy)	(Jy)	(K)	$\langle N_{ m ant} angle^{ m a}$	(h)
90	0.318	2742	3439	184	9.2	24.2
50	0.465	2744	3126	206	9.3	10.2
20	1.550	$302^{\rm d}$	311	$31^{\rm d}$	9.4	1648.0
13	2.278	347	357	30	9.0	82.8
$13/4^{\rm e}$	5.537	399	400	37	9.0	491.8
6	5.949	$244^{\rm d}$	245	$28^{\rm d}$	9.1	1264.9
4	8.418	327	327	36	$10.1^{\rm f}$	1426.8
2	15.082	543	543	67	9.6	790.0
1	22.312	$640^{\rm g}$	640	$68^{\rm g}$	9.6	1493.8
0.7	43.161	1181	1181	106	9.3	797.7
0.3	86.312	4236	4236	119	7.8	115.9

Наблюдения на низких частотах: предсказания

Крайне важно наблюдать на низких частотах (UTMOST, CHIME, HIRAX), т.к. нужны более сильные верхние пределы, чтобы понять, что является причиной современного дефицита всплесков в декаметровом диапазоне:

- влияние среды (поглощение, рассеяние и тп.)
- свойства начального спектра (завал)
- недостаточная чувствительность и объем наблюдений современных обзоров

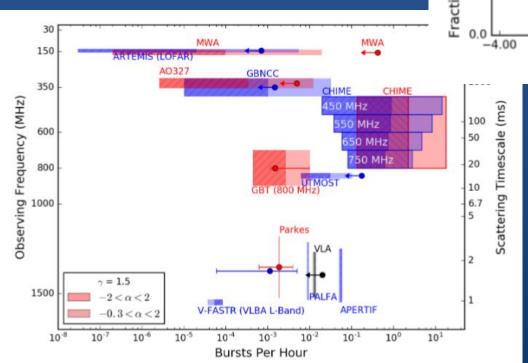
Предсказания для CHIME и HIRAX крайне оптимистичны (десятки и более всплесков в день).

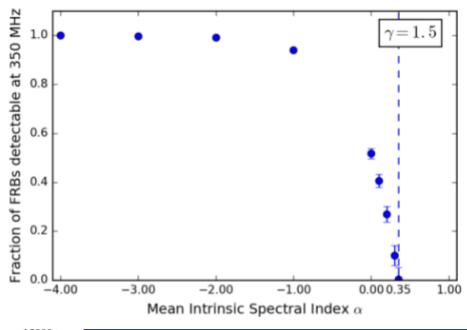


Наблюдения на GBNCC

350 MHz. Всплески не обнаружены. Верхний предел <3.6 10³ в день на потоке выше 0.63 Ян.

Предсказание для СНІМЕ – 54 в день.



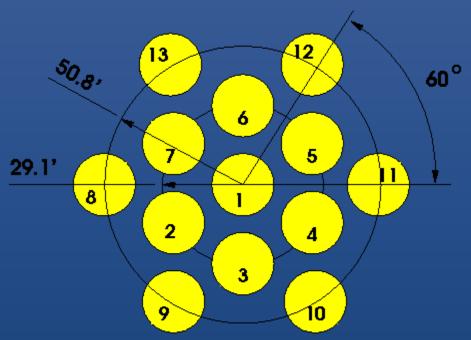


Получены пределы на наклон спектра: >(-0.3 – 0.3). Или существует излом ниже 400 MHz.

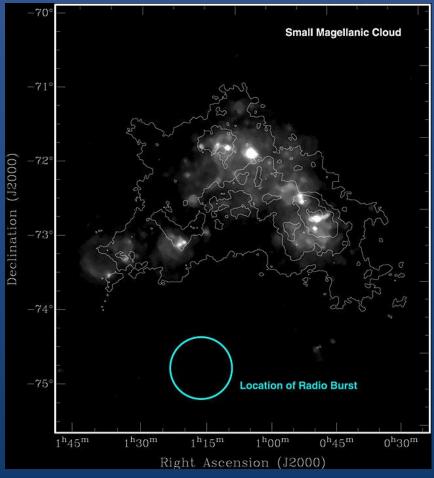
701.07457

Локализация

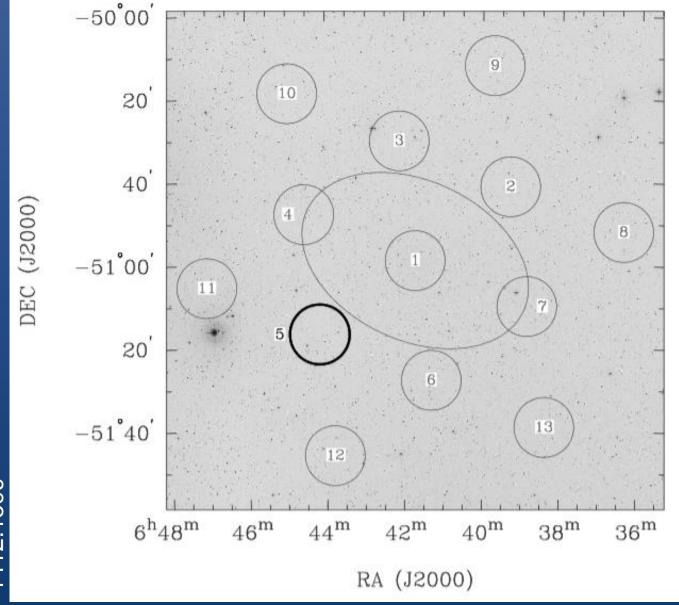
Радиус области неопределенности ~10 угловых минут



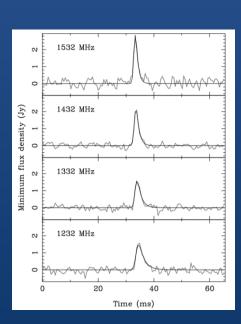
Обычно БРВ виден только в одном биме.



Близкая карликовая галактика?



В одном случае БРВ наблюдался вблизи карликовой галактики. Но это, скорее всего, случайность.



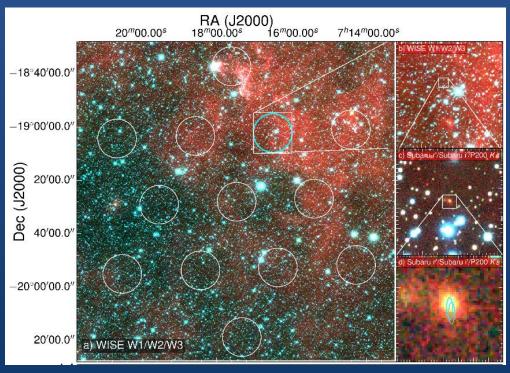
1412.1599

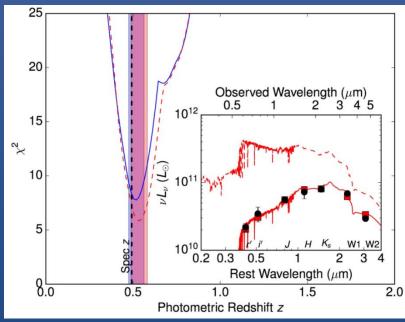
602.07477

Короткий всплеск и галактика

z=0.5 Слабый спадающий радиотранзиент на масштабе ~6 дней

FRB 150418

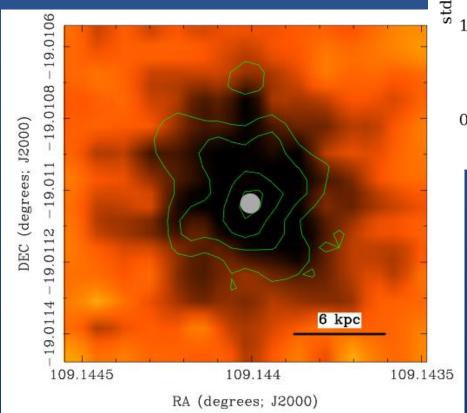




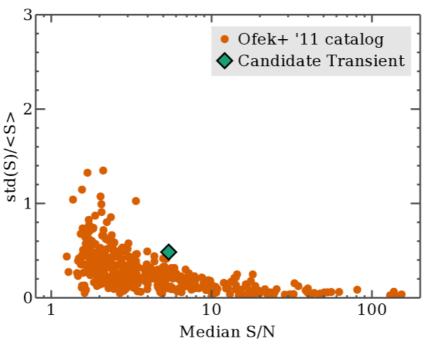
Лучше всего подходит модель слияния НЗ. Два типа всплесков?

Критика результата Keane et al.

Возможно, что совпадение радиовсплеска с медленным транзиентом случайно. А сам медленный транзиент является проявлением активности АГЯ.



603.04421



Новые данные подтверждают, что послесвечение совпадает с активным ядром галактики. Кроме того, возможная доля всплесков с послесвечениями не может быть более 0.25. См. также ATel #8959 и arXiv:1607.08257

См. однако 1603.04825.

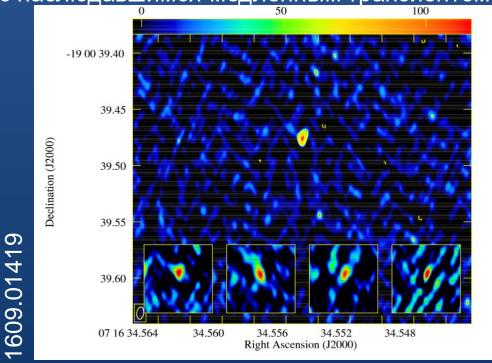
Нет связи с FRB?

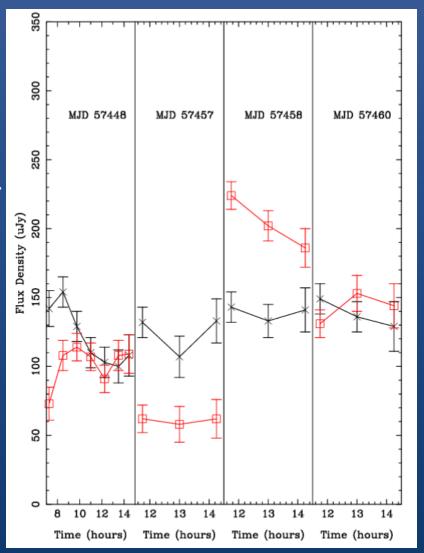
WISE J0716 – предложенная материнская (хозяйская) галактика для FRB 150418

Наблюдения на European VLBI Network и e-MERLIN

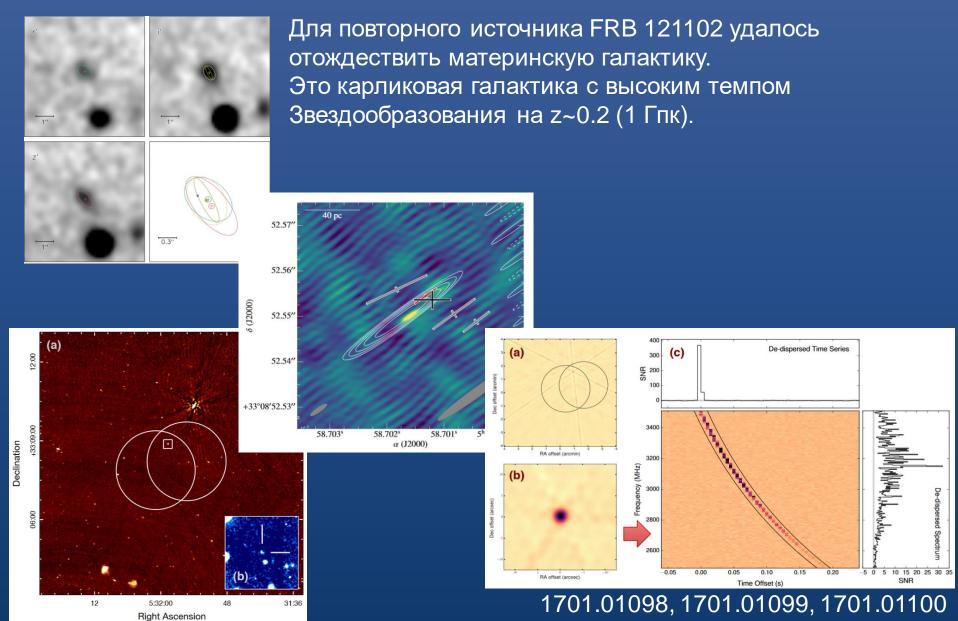
Авторы подтверждают наличие компактного радиоисточника в ядре галактики. Т.о., по всей видимости, FRB не связан

с наблюдавшимся медленным транзиентом.





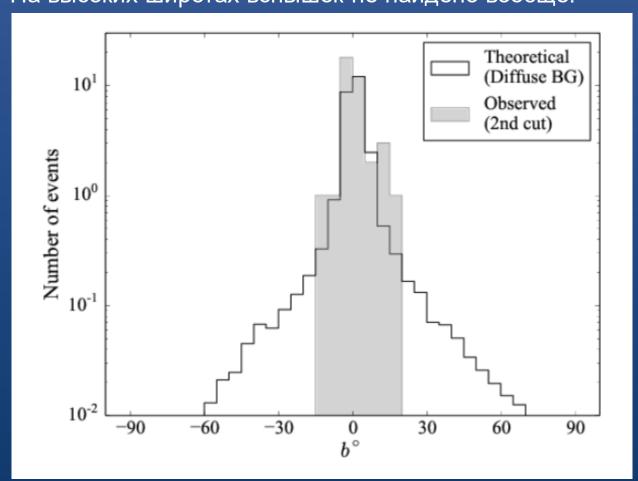
Галактика FRB



Поиск сопутствующих гамма-всплесков

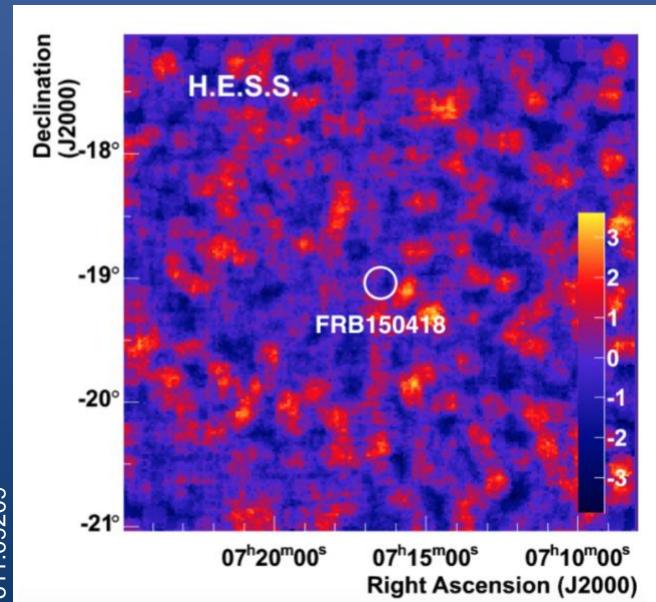
Поиск миллисекундных гамма-вспышек в данным Fermi-LAT не дал превышения над ожидаемым фоном на низких галактических широтах.

На высоких широтах вспышек не найдено вообще.



1604.03077

Поиск ТэВного излучения



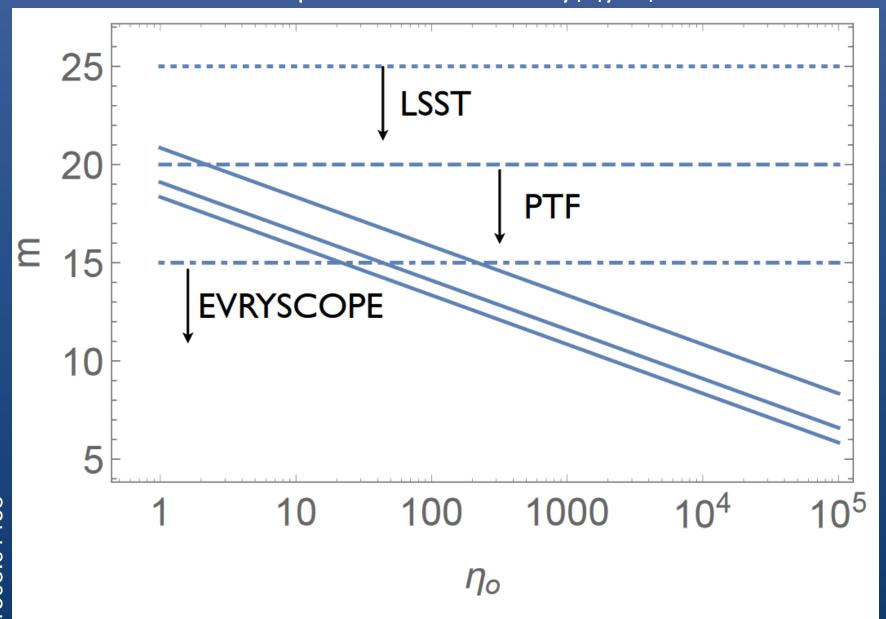
H.E.S.S. FRB 150418

Наблюдения через 15-16 часов.

Около часа чистых данных.

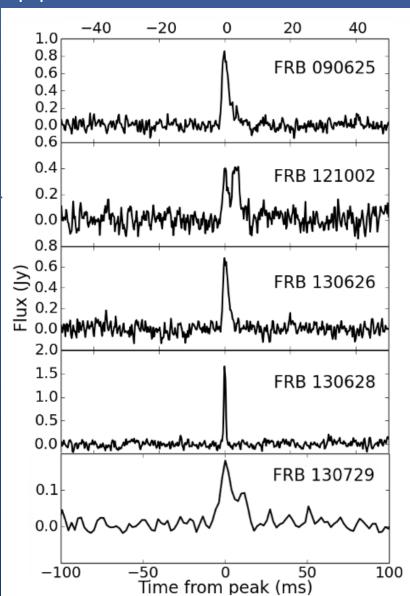
Ничего не видно.

Оптические транзиенты в будущем?



1605.01468

Сдвоенные всплески



511.07746

Обнаружение всплеска с двумя пульсами ставит серьезные проблемы перед рядом теоретических моделей.

А в некоторых они, наоборот, предсказываются, или являются довольно естественными.

Наблюдение поляризации

В работе Petroff et al. (1412.0342) была обнаружена круговая поляризация источника FRB 140514 на уровне около 20%.

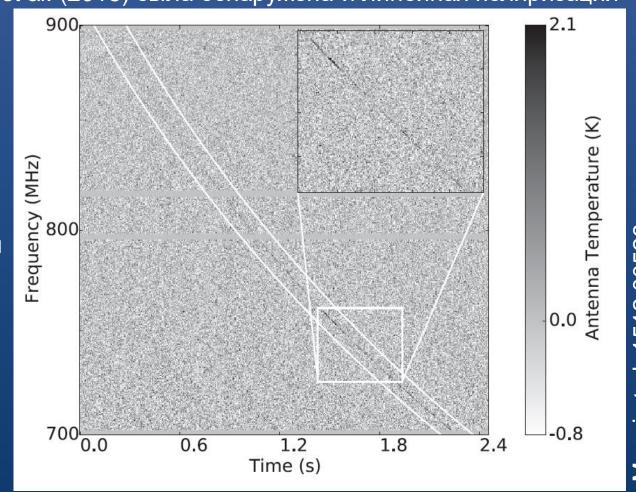
Затем в работе Masui et al. (2015) была обнаружена и линейная поляризация

всплеска FRB 110523.

0.38 микрогаусс

Эти данные неплохо укладываются в модели, в которых вспыхивает нейтронная звезда в остатке сверхновой и/или плотной пульсарной туманности.

Это модели со сверхгигантскими импульсами молодых радиопульсаров и модели с магнитарами.



Повторные всплески

Впервые удалось увидеть повторные всплески от FRB 121102.

Наблюдения на Арэсибо.

10 событий. Темп ~ 3/час Всплески слабые (<0.02-0.3 Ян)

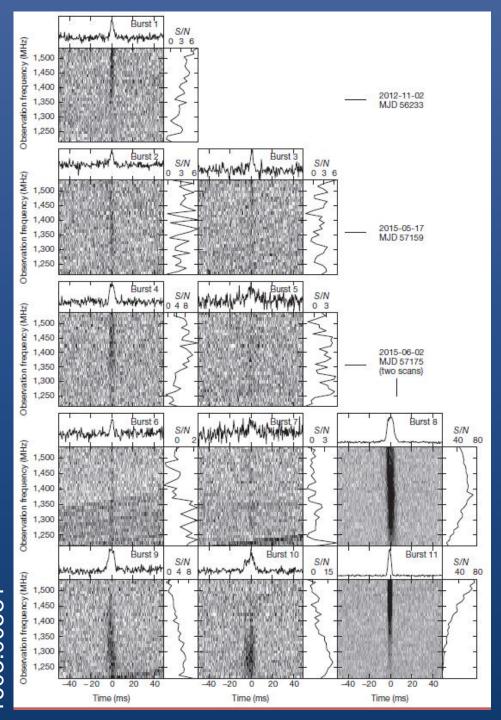
Некоторые из всплесков имеют двойную структуру.

Переменный спектр.

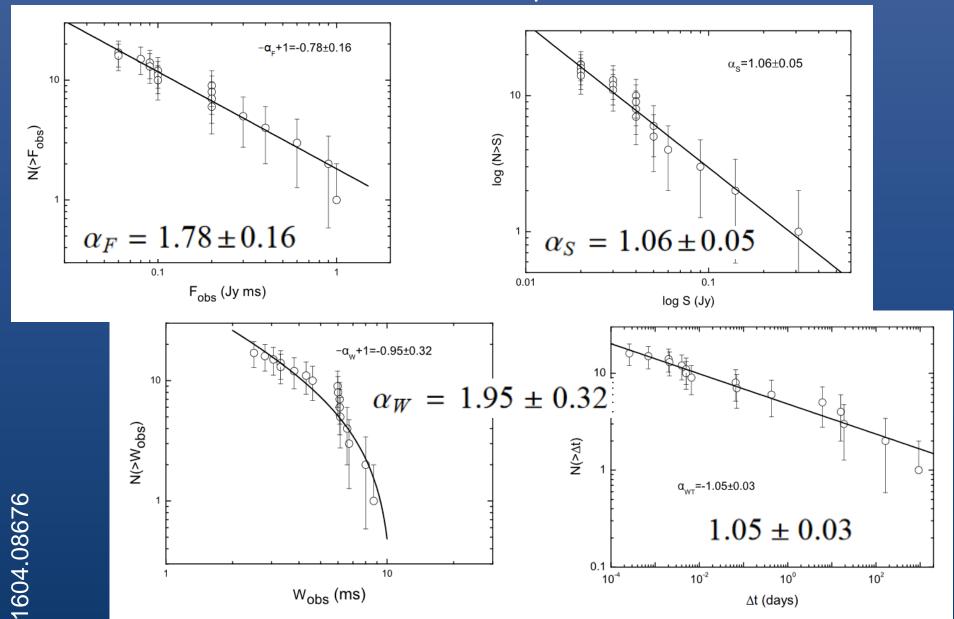
Это может быть уникальный источник, т.е. он может не быть типичным представителем популяции FRBs.

 $dN/d\mathcal{F} \propto \mathcal{F}^{-1.78\pm0.16}$

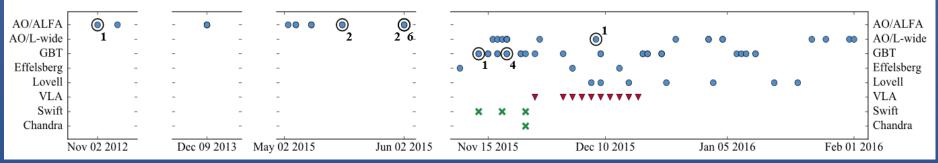
(Wang & Yu 2016)



Анализ статистики повторных всплесков



Еще повторы (от того же источника)



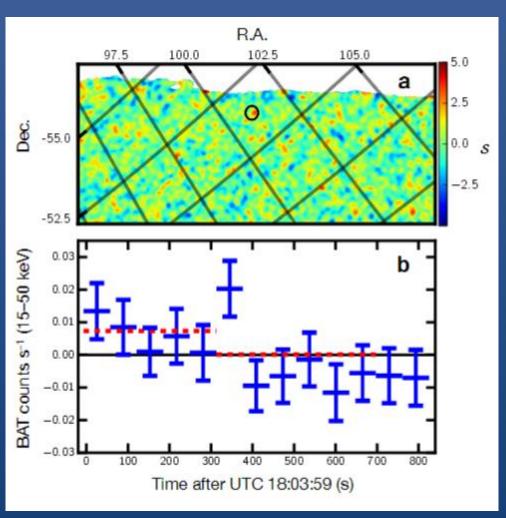
1603.08880

Еще шесть всплесков. Пять на GBT (2 ГГц) и один на Арэсибо (1.4 ГГц). ~0.01-0.1 Ян.

В других диапазонах ничего достоверно не видно.

Надежной периодичности сигналов нет.

Гамма-всплеск от FRB 131104?



611.03139

Длительность 200-400 сек.

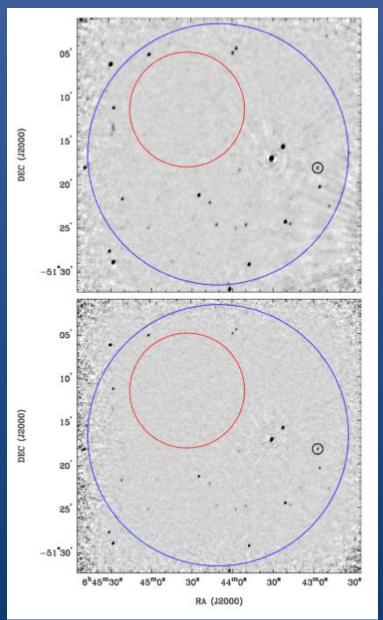
Если всплеск космологический, то $E \sim 5 \cdot 10^{51}$ эрг

Гамма-всплесков от других FRB (в том числе от повторного) не было обнаружено.

Случайное совпадение?

Мониторинг FRB 131104 на ATCA

Отсутствие длинного радиотранзиента может говорить о том, что совпадение гамма-всплеска и FRB случайно.



Самый яркий всплеск: FRB 150807

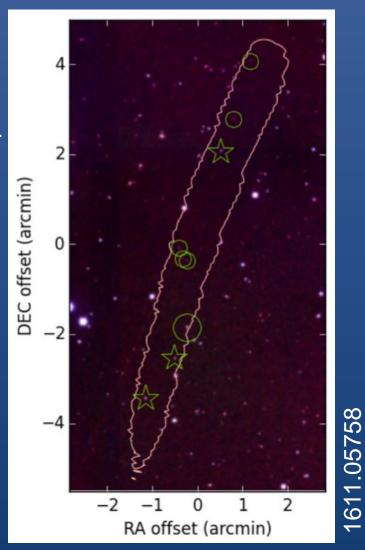
120+/-30 Ян Обнаружение в реальном времени.

Нет вспышки или транзиента в других диапазонах. Нет повторных всплесков.

Удалось измерить меру вращения.

Мера дисперсии одна из самых низких ~267.

Число ярких (>50 Ян) всплесков может быть ~150-200 в день.



Локализация 9 угловых минут

Данные по известным всплескам

	Distance (Gpc)	S_{ν} (Jy)	$\mathcal{L}_{\mathrm{radio}}$ (erg/s)	Ref
FRB 010724	1.0	30	5.03×10^{43}	Lorimer et al. (2007)
FRB 110220	2.8	1.3	1.71×10^{43}	Thornton et al. (2013)
FRB 110703	3.2	0.5	8.58×10^{42}	Thornton et al. (2013)
FRB 131104	1.0	2.0	3.35×10^{42}	Ravi et al. (2015)
FRB 110627	2.2	0.4	3.24×10^{42}	Thornton et al. (2013)
FRB 120127	1.7	0.5	2.42×10^{42}	Thornton et al. (2013)
FRB 140514	1.7	0.47	2.28×10^{42}	Petroff et al. (2015)
FRB 011025	2.1	0.3	2.22×10^{42}	Burke-Spolaor & Bannister (2014)
FRB 121102	1.0	0.4	6.70×10^{41}	Spitler et al. (2014)
FRB 010621	0.7	0.4	3.28×10^{41}	Keane et al. (2012)

1412.4829

FRB	ℓ (°)	ь (°)	$_{\rm obs}^{\rm DM_{obs}}$ (pc cm $^{-3}$)	Peak flux (Jy)	Fluence (Jy ms)	Freq. (GHz)	Ref.	${ m DM_{ISM}} \ ({ m pc~cm^{-3}})$	${ m DM_{halo}} \ ({ m pc~cm^{-3}})$	${ m DM_{local~sim}} \ ({ m pc~cm}^{-3})$	${ m DM_{cosmo}} \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ $
010125 ¹	356.6	-20.0	790 ± 3	$1.10^{+0.22}_{-0.16}$	$11.2^{+6.0}_{-4.0}$	1.4	1,2	110	30	13	650
010621	25.4	-4.0	746 ± 1	$1.10_{-0.16}^{+0.16}$ $1.04_{-0.22}^{+0.26}$	$8.6^{+7.2}_{-3.8}$	1.4	3,2	537	_	_	_
010724	300.8	-41.9	375 ± 1	> 3.16	> 63.0	1.4	4,2	44	30	20	301
110220	50.8	-54.7	944.38 ± 0.05	$2.22^{+2.24}_{-0.20}$	$14.6^{+4.8}_{-3.4}$	1.3	5,2	35	30	5	879
110626	355.8	-41.7	723.0 ± 0.3	$1.26^{0.40}$	$1.8^{+2.6}$	1.3	5,2	47	30	10	646
110703	81.0	-59.0	1103.6 ± 0.7	$0.9^{+0.42}_{-0.20}$ $1.24^{+0.26}_{-0.20}$ $0.8^{+0.8}$	$3.6^{+4.6}_{-2.2}$	1.3	5,2	33	30	14	1041
120127	49.2	-66.2	553.3 ± 0.3	$1.24^{+0.26}_{-0.20}$	$1.6^{+1.2}_{-0.6}$	1.3	5,2	32	30	9	491
121102	175.0	-0.2	557 ± 2	$0.8^{+0.8}_{-0.2}$	2.4 + 8.0	1.4	6,2	192	30	10	335
131104	260.6	-21.9	$778.5^{+0.2}_{-0.3}$	$2.2^{+0.1}_{-0.2}$	$1.9^{+0.08}_{-0.18}$	1.4	7	71	30	10	678
140514	50.8	-54.6	562.7 ± 0.6	$0.8_{-0.2}^{+0.1}$ $2.2_{-0.2}^{+0.1}$ $0.94_{-0.16}^{+0.22}$	$2.6^{+4.6}_{-1.0}$	1.4	8,2	35	30	5	498

Таблица известных на данный момент всплесков

	Catalogue venus.fandm	Petroff et al. 1508.04884	Dolag et al. 1412.4829
010125	*		*
010621	*		*
010724	*		*
090625		*	
110220	*	*	*
110523	Masui et al.		
110627	*	*	*
110703	*	*	*
120127	*	*	*
121002		* (+L)	
121102	*		*
130626		*	
130628		*	
130729		1511.07746	
131104	*		*
140514	*	*	*

http://astro.phys.wvu.edu/FRBs http://venus.fandm.edu/~pulsar/frb

http://www.astronomy.swin.edu.au/pulsar/frbcat/

Каталог быстрых радиовсплесков

FRB Catalogue

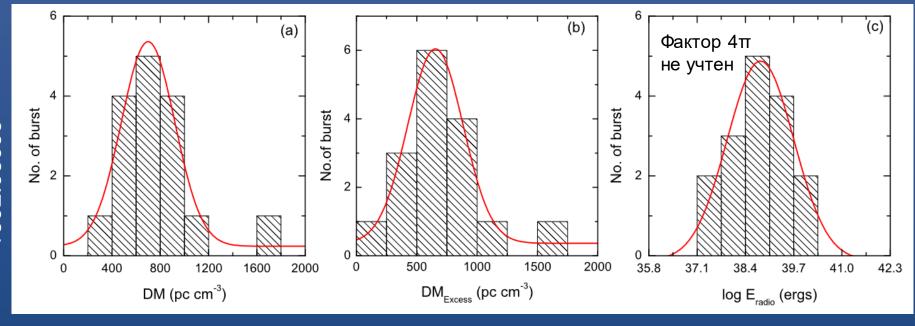
This catalogue contains up to date information for the published population of Fast Radio Bursts (FRBs). This site is maintained by the FRBcat team and is updated as new sources are published or refined numbers become available. Information for each burst is divided into two categories: intrinsic properties measured using the available data, and derived parameters produced using a model. The intrinsic parameters should be taken as lower limits, as the position within the telescope beam is uncertain. Models used in this analysis are the NE2001 Galactic electron distribution (Cordes & Lazio, 2002), and the Cosmology Calculator (Wright, 2006).

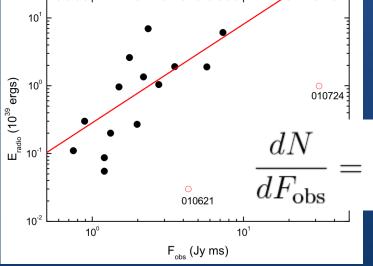
You may use the data presented in this catalogue for publications; however, we ask that you cite the paper, when available (Petroff et al., 2016) and provide the url (http://www.astronomy.swin.edu.au/pulsar/frbcat/).

Catalogue Version 1.0

Event	Telescope	gl [deg]	gb [deg]	FWHM [deg]	DM [cm ⁻³ pc]	S/N	W _{obs} [ms]	Speak,obs [Jy]	F _{obs} [Jy ms]	Ref
FRB010125	parkes	356.641	-20.020	0.25	790(3)	17	9.40 +0.20	0.30	2.82	1
FRB010621	parkes	25.433	-4.003	0.25	745(10)		7.00	0.41	2.87	<u>2</u>
FRB010724	parkes	300.653	-41.805	0.25	375	23	5.00	>30.00 +10.00	>150.00	<u>3</u>
FRB090625	parkes	226.443	-60.030	0.25	899.55(1)	30	1.92 ^{+0.83} _{-0.77}	1.14 ^{+0.42} -0.21	2.19 +2.10	<u>4</u>
FRB110220	parkes	50.828	-54.766	0.25	944.38(5)	49	5.60 ^{+0.10}	1.30 ^{+0.00}	7.28 ^{+0.13} _{-0.13}	<u>5</u>
FRB110523	GBT	56.119	-37.819	0.26	623.30(6)	42	1.73 ^{+0.17} _{-0.17}	0.60	1.04	<u>6</u>
FRB110626	parkes	355.861	-41.752	0.25	723.0(3)	11	1.40	0.40	0.56	<u>5</u>
FRB110703	parkes	80.997	-59.019	0.25	1103.6(7)	16	4.30	0.50	2.15	<u>5</u>
FRB120127	parkes	49.287	-66.203	0.25	553.3(3)	11	1.10	0.50	0.55	<u>5</u>
FRB121002	parkes	308.219	-26.264	0.25	1629.18(2)	16	5.44 ^{+3.50} _{-1.20}	0.43 +0.33	2.34 +4.46 -0.77	<u>4</u>
FRB121102	arecibo	174.950	-0.225	0.05	557(2)	14	$3.00^{+0.50}_{-0.50}$	0.40 +0.40	1.20 ^{+1.60} _{-0.45}	<u>7</u>
FRB130626	parkes	7.450	27.420	0.25	952.4(1)	21	1.98 ^{+1.20} _{-0.44}	0.74 ^{+0.49} -0.11	1.47 ^{+2.45} _{-0.50}	<u>4</u>
FRB130628	parkes	225.955	30.655	0.25	469.88(1)	29	0.00	0.00	0.00	<u>4</u>
FRB130729	parkes	324.787	54.744	0.25	861(2)	14	15.61 ^{+9.98} _{-6.27}	0.22 +0.17	3.43 ^{+6.55} -1.81	<u>4</u>
FRB131104	parkes	260.549	-21.925	0.25	779(1)	30	2.08	1.12	2.33	<u>8</u>
FRB140514	parkes	50.841	-54.611	0.25	562.7(6)	16	2.80 +3.50 -0.70	0.47 ^{+0.11} -0.08	1.32 ^{+2.34} _{-0.50}	<u>9</u>
FRB150418	parkes	232.665	-3.234	0.25	776.2(5)	39	0.80 +0.30	2.20 +0.60 -0.30	1.76 ^{+1.32} _{-0.81}	<u>10</u>

Статистические свойства всплесков





Пока всплесков мало, но уже пытаются изучить их статистические свойства. Самый первый – лоримеровский всплеск, - слегка выпадает из многих распределений.

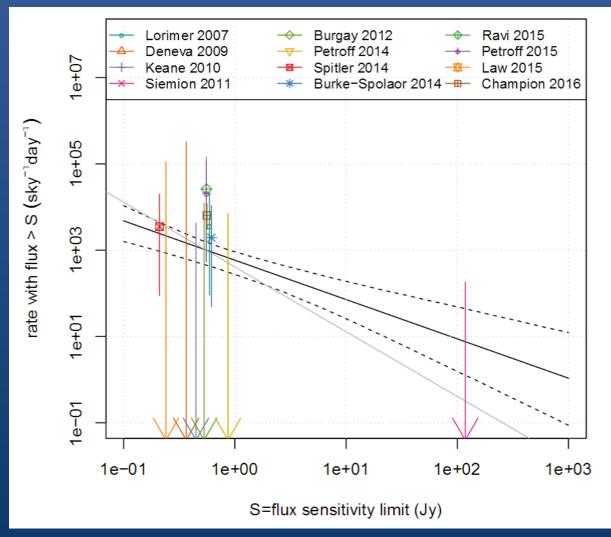
=
$$(4.4 \pm 0.4) \times 10^3 F_{\text{obs}}^{-1.18 \pm 0.15} \,\text{sky}^{-1} \,\text{day}^{-1}$$

С учетом повторных всплеском темп выше.

611.00458

Новые оценки темпа всплесков

587 в день с потоком выше 1 Янского Неоднородный пуассоновский процесс.



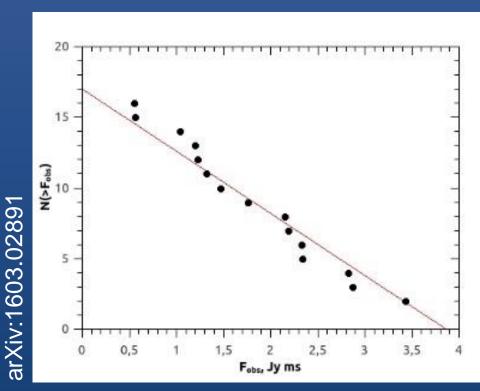
Черная линия – новый результат.
Пунктирные – неопределенность (95%).

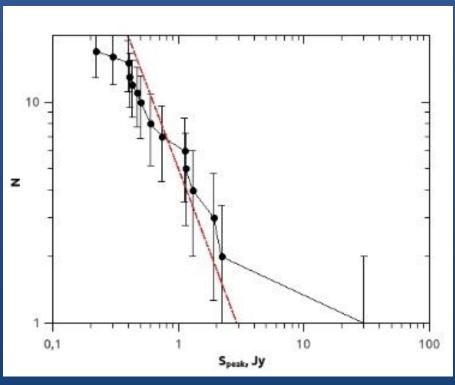
Серая линия построена при предположении, что в Log N – Log S показатель равен 3/2.

См. также 1612.00896

<u>Флюэнс и пиковая светимость</u>

Пока мало статистики для серьезного анализа распределения Log N – LogS для флюэнса или полной светимости.





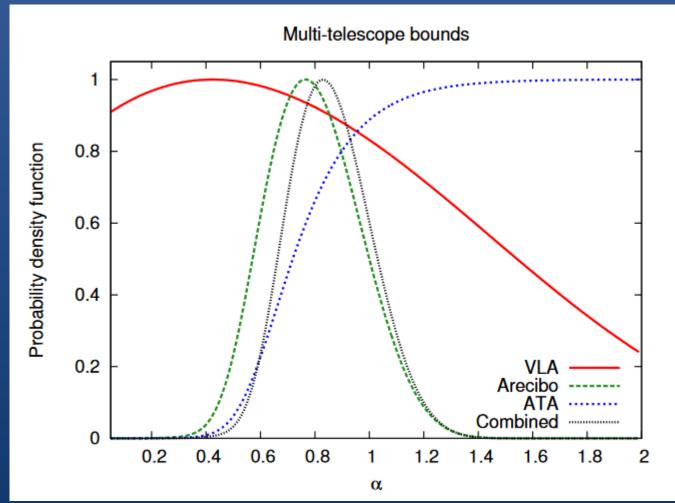
Флюэнс (без двух самых ярких)

Пиковая светимость

См. также 1604.03909, где проведен детальный анализ и тест V/V_{max}.

Log N – Log F (fluence)

Наклон не равен 3/2, а является более плоским (больше ярких всплесков).

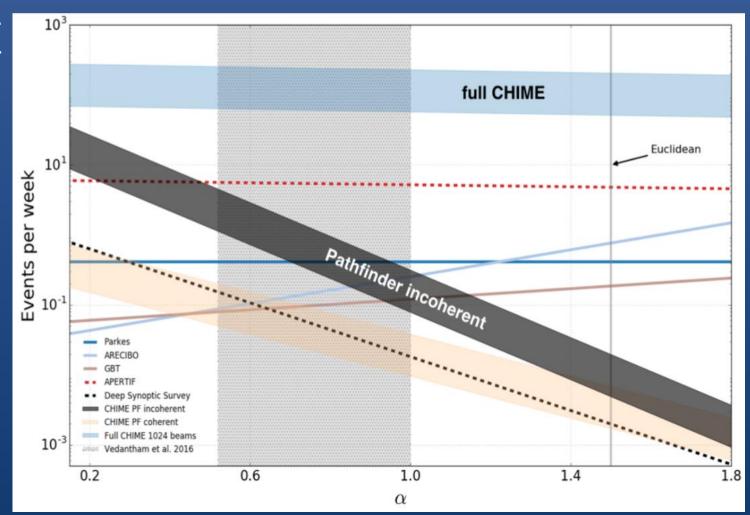


Это делает перспективным поиск с помощью комплекса малых (6 м) антенн.

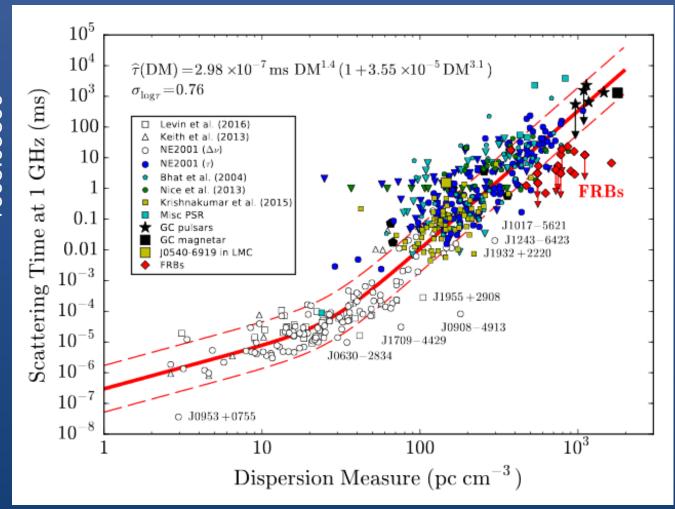
Результаты CHIME pathfinder по ярким всплескам

>1250 часов наблюдений.

400-800 Mhz. Нет событий. α>0.9



Дисперсия и на межгалактической среде, и на материнской галактике

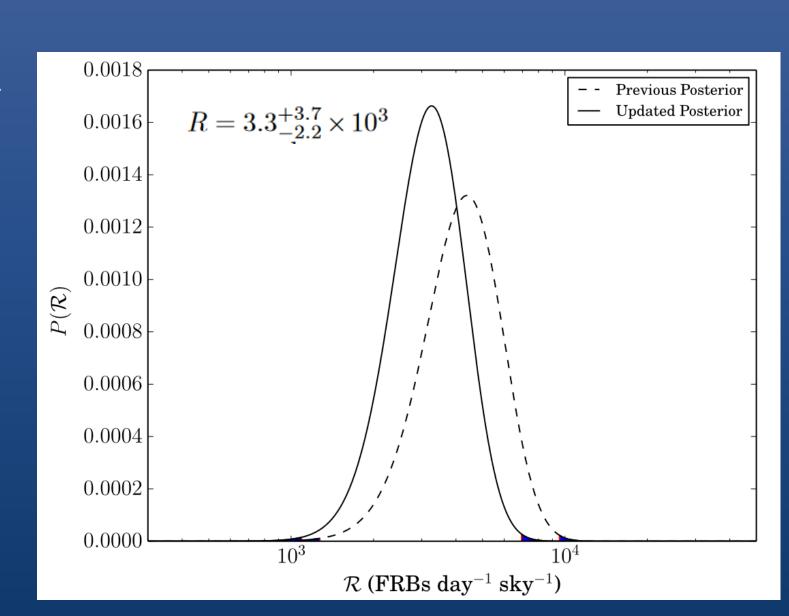


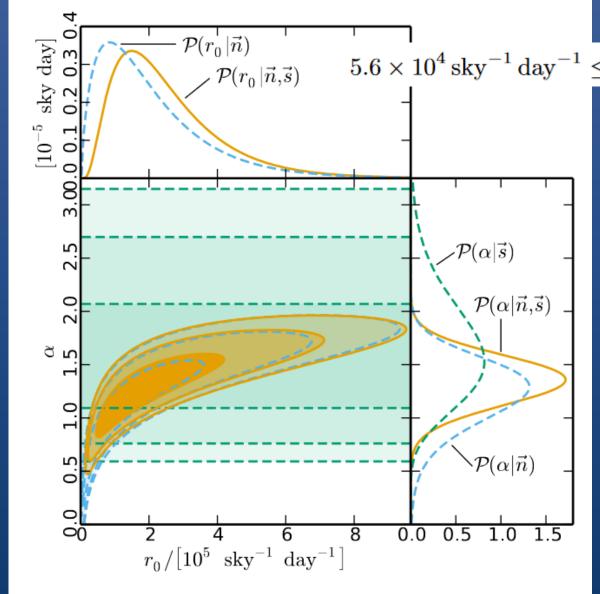
Трудно одновременно объяснить меру дисперсии и расплывание сигнала только межгалактич. средой или только локальной средой в материнской галактике.

Видимо уширение импульса в основном определяется материнской галактикой. А мера дисперсии определяется и галактикой, и средой.

Поиск БРВ с большой дисперсией

Не найдено. Искали до DM=5000





0.9<α<1.8

$$5.6 \times 10^4 \,\mathrm{sky}^{-1} \,\mathrm{day}^{-1} \le r_0 \le 6.6 \times 10^5 \,\mathrm{sky}^{-1} \,\mathrm{day}^{-1}$$
.

для 1.4 Ггц (95%)

Распределение по энергии

В предположении, что все всплески связаны с одним типом источников (включая повторный всплеск), и считая, что все всплески подчиняются единому распределению по энергиям, авторы получили его.

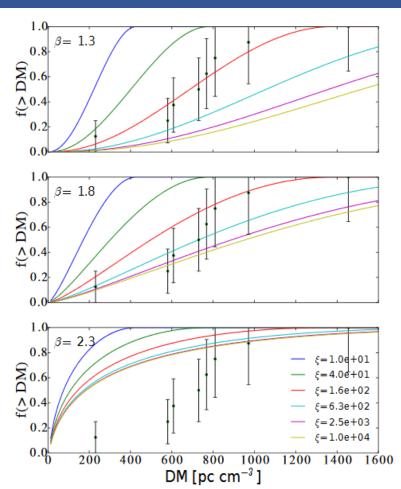
$$\mathrm{d}\dot{N}/\mathrm{d}E \propto E^{-\beta}$$

$$\xi \equiv E_{\rm max}/E_0$$

$$1.5 \lesssim \beta \lesssim 2.2$$
,

$$\xi \equiv E_{\rm max}/E_0 \gtrsim 30$$

$$\frac{\mathrm{d}\dot{N}}{\mathrm{d}E} = \begin{cases} \frac{(\beta-1)\dot{N}_0/E_0}{1-(E_{\mathrm{max}}/E_0)^{1-\beta}} \left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\beta}, & \text{if } E < E_{\mathrm{max}}, \\ 0, & \text{if } E > E_{\mathrm{max}}, \end{cases}$$



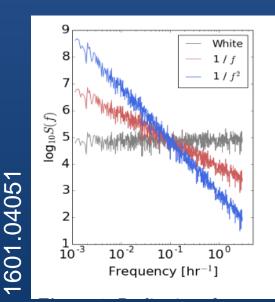
Темп и повторы

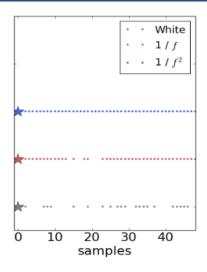
Темп всплесков составляет несколько тысяч событий в день. Это верно и для частоты ~1.4 GHz, и для ~700-900 MHz (1602.07292).

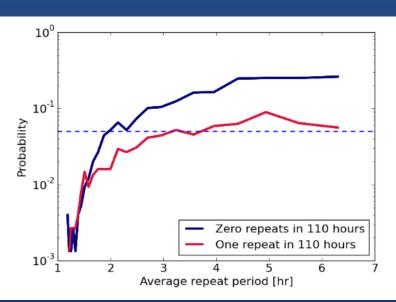
Повторы пока зарегистрированы лишь от одного всплеска. Такие данные поставят катастрофические модели в очень сложную ситуацию.

Разные авторы пытаются посчитать вероятность повторов в разных моделях, а также определить лучшую стратегию поиска всплесков.

Получается, что в ряде моделей лучше всего искать в областях, где уже были обнаружены всплески.







Гипотезы, гипотезы ...

Сейчас известно более 15 всплесков. Для их объяснения придумано около 20 существенно разных моделей!

- 1. Магнитары
- 2. Космические струны
- 3. Первичные черные дыры
- 4. Сверхновая в системе с пульсаром
- 5. Слияние нейтронных звезд
- 6. Слияние белых карликов
- 7. Супрамассивные нейтрон. звезды
- 8. Вспышки обычных звезд
- 9. Коллапс нейтронной звезды в дыру

- 10. Батарея черной дыры
- 11. МГД процессы на компаньоне в тесной двойной системе
- 12. Белые дыры
- 13. Сверхгигантские импульсы пульсаров
- 14. Аксионные звезды и тп.
- 15. Деконфайнмент
- 16. Падение астероидов и тп. на нейтр.зв.
- 17. Миллисекундный магнитар
- 18. Джеты
- 19. Заряженные черные дыры

При этом многие упомянутые гипотезы имеют разные варианты, существенно отличающиеся друг от друга.

Сейчас публикуется примерно 1-2 статьи в неделю на тему БРВ.

Нейтронные звезды и экзотика



У нейтронной звезды масса порядка солнечной и радиус порядка 10 км. Это дает скорость падения v=(2GM/R)^{1/2} ~0.5 с Время падения t=R/v< 0.1 msec Поэтому легко получать короткие события. То же самое для черных дыр.

Кроме того, отсутствие сопутствующих вспышек в других диапазонах, и вообще недостаток данных, позволяет привлекать весьма необычные сценарии космических транзиентов.



Кроме того, у нейтронных звезд есть сильное магнитное поле, и они известны как вспыхивающие радиоисточники.

Поэтому модели FRB легко свести к формуле: компактные объекты или экзотика.







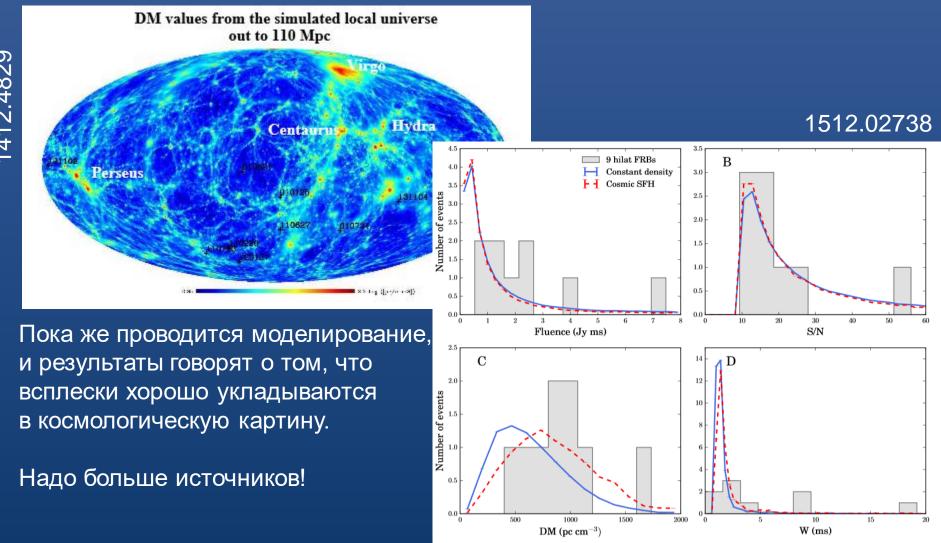




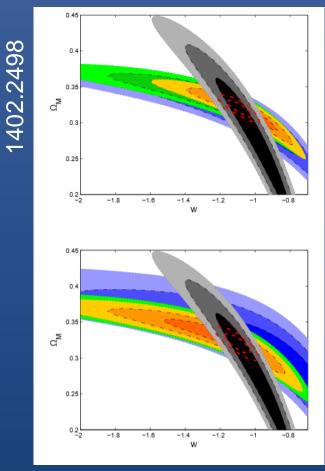


FRB и космология

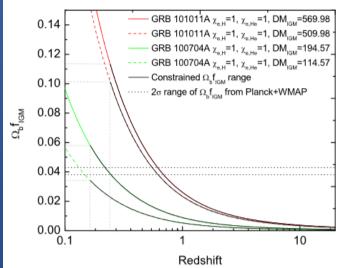
Если быстрые радиовсплески приходят с космологических расстояний, то их можно использовать в космологических целях. Как зонды.



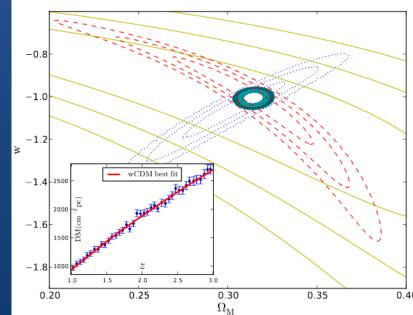
Космологические зонды



Данные по FRB/GRB можно будет использовать для получения космологических параметров



1401.0059

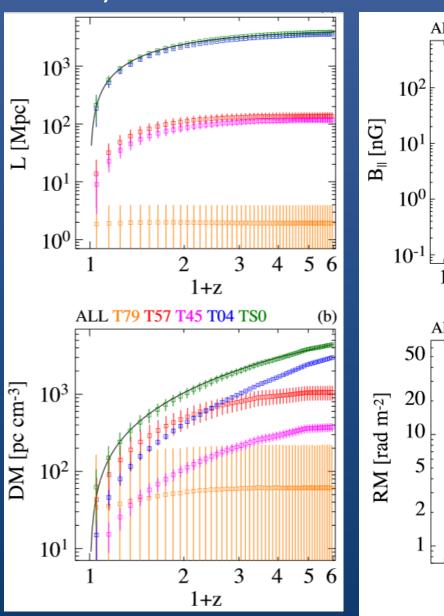


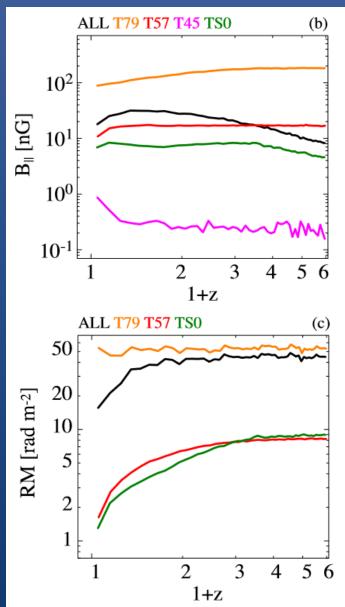
Надо много всплесков, и надо, чтобы они совпадали с гамма

или еще с чем-то.

1401.2927

Изучение свойств межгалактической среды





FRB и галактики

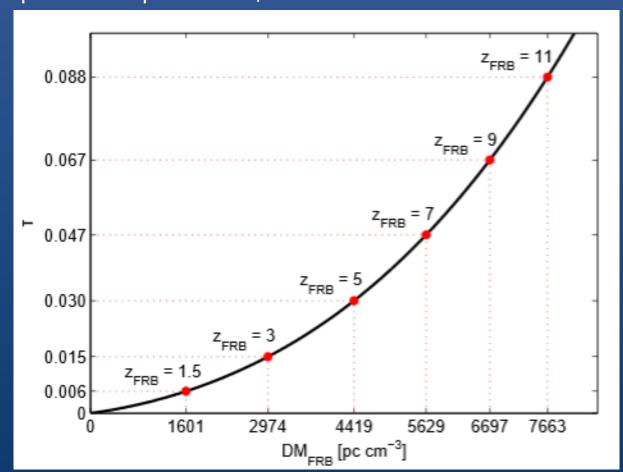
Ожидается, что в ближайшие годы новые проекты (CHIME, UTMOST, HIRAX) смогут зарегистрировать тысячи FRB. Если это космологические источники, и их координаты будут определены достаточно точно, то это позволит получить массу интересной информации.

Можно будет как определять параметры межгалактической среды и среды вблизи источников, так и выявлять статистические свойства материнских галактик всплесков.

Важна корреляция с обзорами типа SDSS.

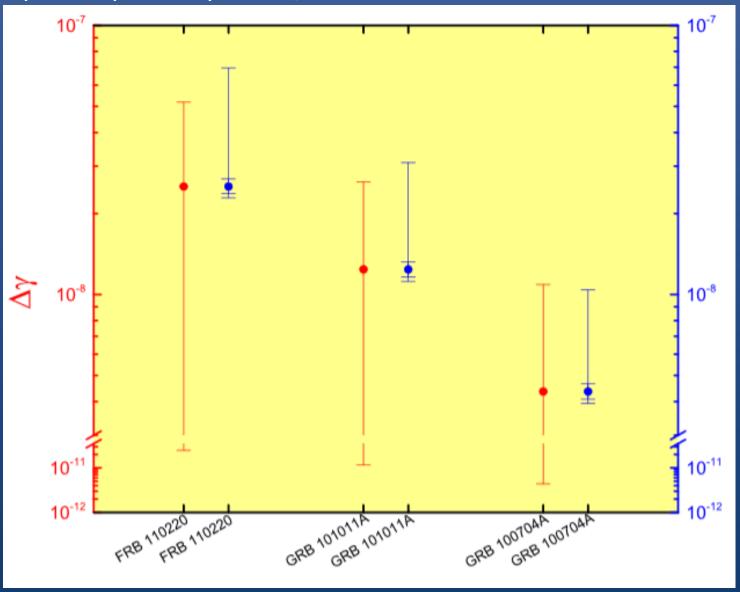
Очень далекие БРВ и реликтовое излучение

Обнаружение БРВ, испущенных в эпоху реионизации, может дать важную информацию о реликтовом излучении и протекании реионизации.



1602.08130

Проверка принципа эквивалентности



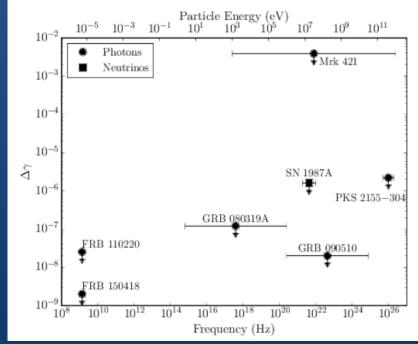
Также можно проверять лоренц-инвар. Особенно, если увидеть FRB, совпадающий с GRB.

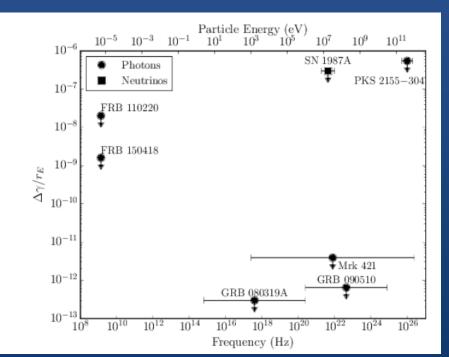
1512.07670

См. также 1509.00150, 1601.04558

Улучшение предела на параметр ү

Локализация всплеска и идентификация материнской галактики (если эта идентификация верна) позволяют улучшить предел на параметр ү.

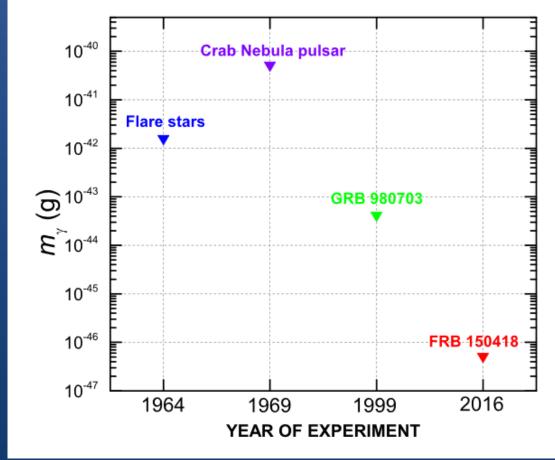




602.07643

Предел на массу фотона

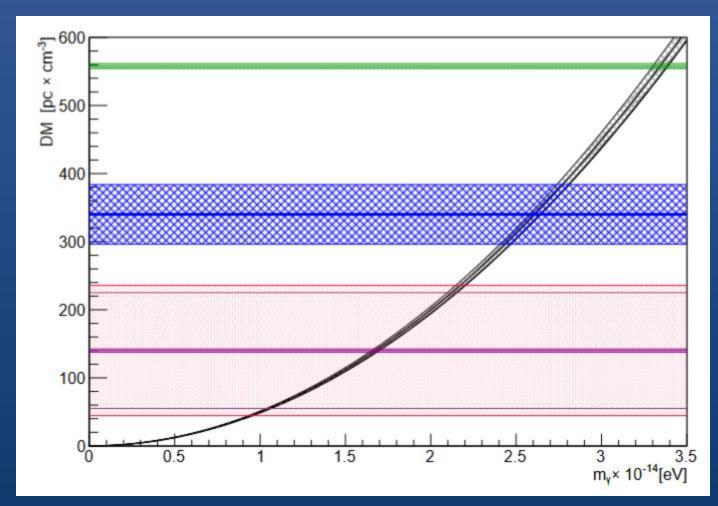
$$m_{\gamma} = (1.56 \times 10^{-47} \text{g}) \left\{ \frac{\Delta t_{m_{\gamma} \neq 0}/\text{s}}{\left[\left(\frac{\nu_l}{\text{GHz}} \right)^{-2} - \left(\frac{\nu_h}{\text{GHz}} \right)^{-2} \right] H_1(z)} \right\}^{1/2}$$



См. также 1602.09135

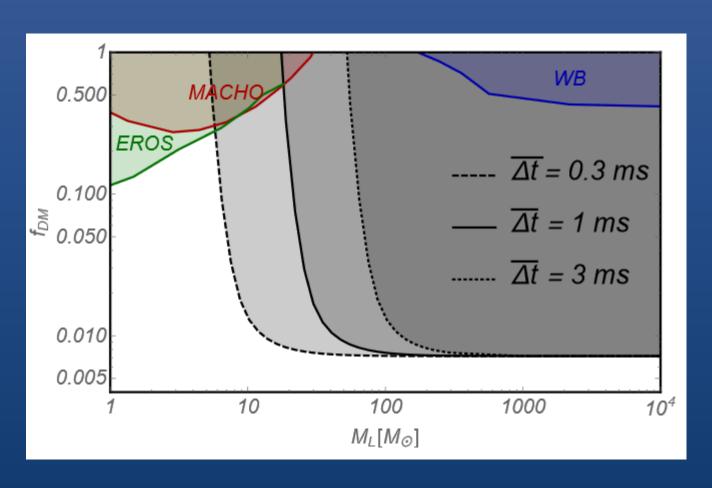
Новый предел на массу фотона

$$m_{\gamma} \lesssim 2.2 \times 10^{-14} \text{ eV c}^{-2} (3.9 \times 10^{-50} \text{ kg})$$



Линзирование FRB на объектах гало

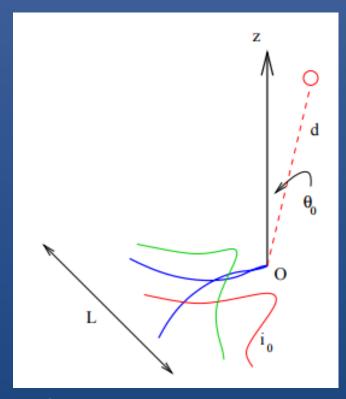
Потенциально можно поставить пределы на количество МАСНО в гало Галактики.



Изучение параметров скопления

Совместные данные по эффекту Сюняева-Зельдовича, а также по мере дисперсии БРВ на значительных угловых расстояниях от центра скопления, >R₂₀₀, (в случае, если дисперсия набирается в основном в межгалактической среде) должны позволить с высокой точностью восстановить профиль температуры и плотности в скоплении.

Космические струны

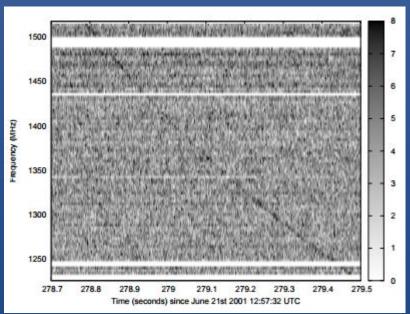


Сверхпроводящие струны Vachaspati 0802.0711

Струны могут вести себя довольно причудливым образом.
В частности, могут возникать точки струны – каспы, - которые разгоняются до околосветовой скорости.
Каспы становятся мощными источниками электромагнитного излучения.
Именно это и лежит в основе модели.

Также гипотеза космических струн в приложении к FRB рассматривалась в ряде других работ: 1110.1631, 1409.5516,

Первичные черные дыры



Не подходит в качестве внегалактического источника, т.к. полная светимость мала. Должны быть видны с <200 пк.

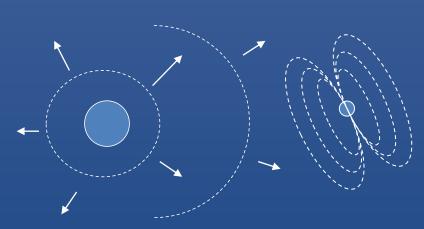
Давно предсказывались (Rees 1977).

Эффекты дополнительных измерений могут привести к более высокому энерговыделению, но все равно речь идет о расстояниях порядка 300 пк.

Keane et al. 1206.4135

Могут сопровождаться всплеском жесткого излучения (если всплеск происходит достаточно близко).

Сверхновая и пульсар

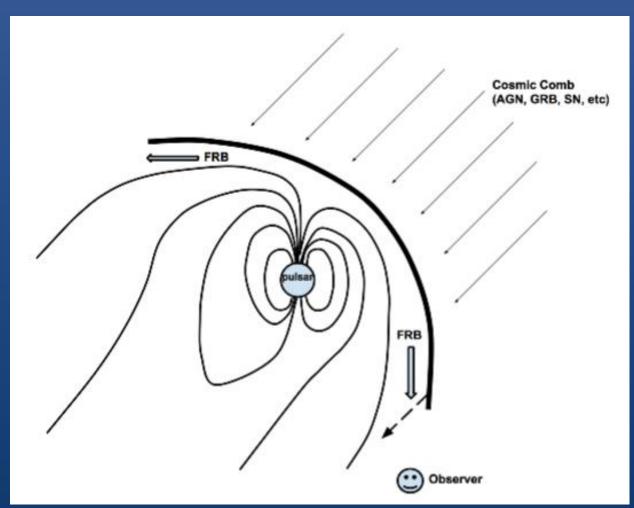


Ударная волна сверхновой в массивной тесной двойной системе может провзаимодействовать с магнитосферой нейтронной звезды, создав магнитосферный хвост. Пересоединение в хвосте может привести в появлению всплеска. (Егоров, Постнов 0810.2219)

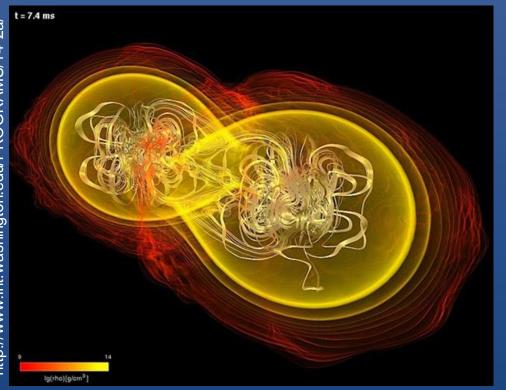
Т.о., радиовсплеск ВСЕГДА должен сопровождаться вспышкой сверхновой.

Срыв магнитосферы

Модель позволяет сделать всплеск совпадающим с другим мощным транзиентом (АЯГ, гамма-всплеском).



1701.04094



Придумано несколько сценариев, в которых в результате слияния нейтронных звезд возникает радиоисточник (Липунов, Панченко; Hansen, Lyutikov; Постнов, Пширков).

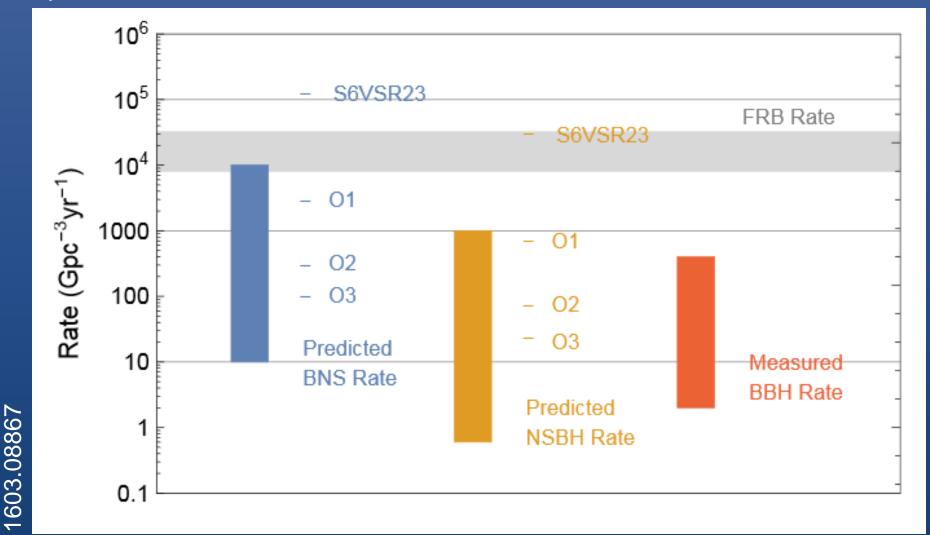
Но в приложении к FRBs основной является работа Totani (1307.4985).

$$\dot{E} = -6.2 \times 10^{45} \left(\frac{B}{10^{12.5} \text{ G}}\right)^2 \left(\frac{R}{10 \text{ km}}\right)^6$$

$$\times \left(\frac{P}{0.5 \text{ msec}}\right)^{-4} \text{ erg s}^{-1}.$$

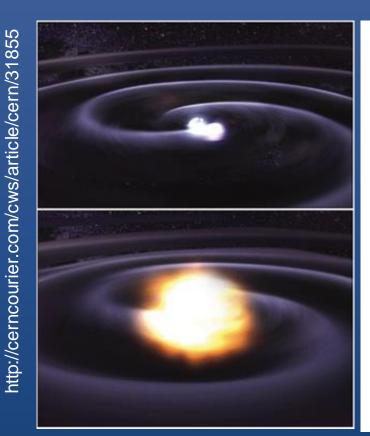
Довольно легко получить быстрое вращение и сильное магнитное поле. Но по физике есть много вопросов, т.к. ситуация очень нестационарная и плохо изученная.

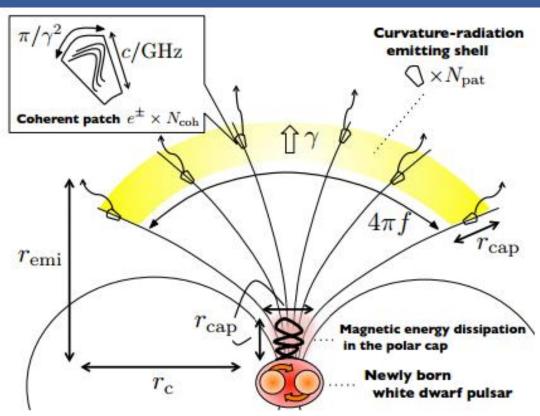
Ограничение на модели по данным LIGO/VIRGO



В ближайшее время данные с гравитационно-волновых антенн смогут дать возможность понять, вносят ли слияния вклад в FRBs. Пока ничего нет: см. 1605.01707

Слияния белых карликов

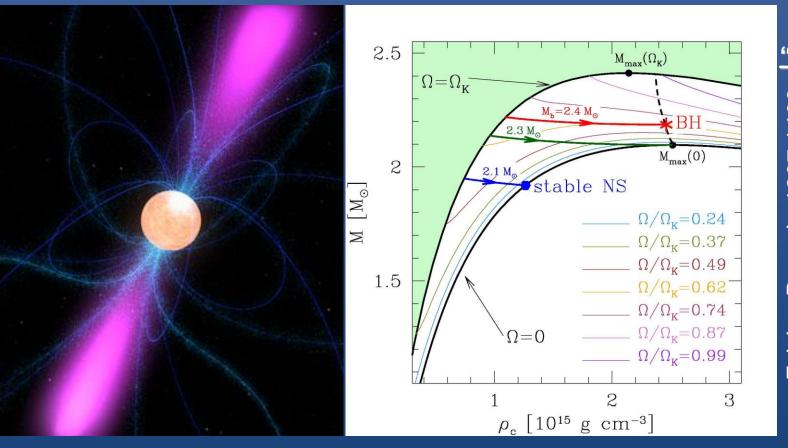




Основные события разыгрываются на полярной шапке, что необходимо для согласования характерной длительности всплеска с временами процессов.

Сопровождается сверхновой la и, возможно, рентгеновским излучением за счет возвратной аккреции (fall-back).

Супрамассивные нейтронные звезды



http://www.astro.ru.nl/~falcke/PR/blitzar/

"blitzar"

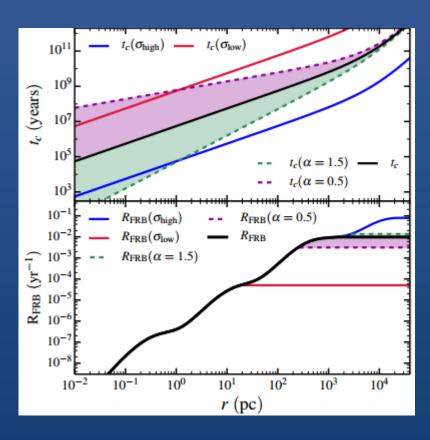
Falcke, Rezzola 1307.1409

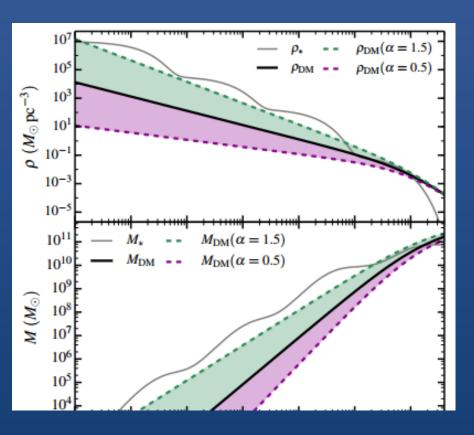
Нейтронная звезда может быть устойчивой относительно коллапса из-за очень быстрого вращения. Такая ситуация может возникать при слияниях, при аккреции в двойной или же прямо при рождении.

Коллапс может произойти спустя тысячи лет после образования Н3. Могут сопровождаться сверхновой, коротким гамма всплеском или всплеском гравволн. Могут давать двойные всплески.

Поможем коллапсу!

Коллапс из-за аккреции темного вещества. Более эффективен в центральных областях галактик.



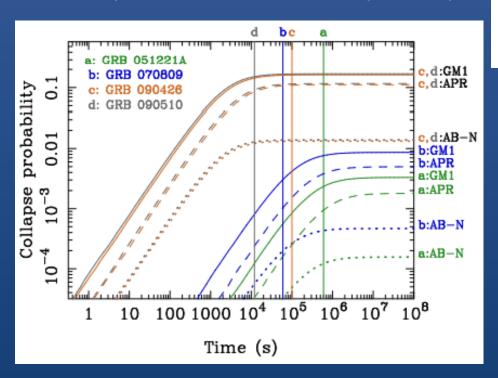


Коллапс нейтронной звезды

Развитие модели blitzar (Ravi, Lasky 1403.6327).

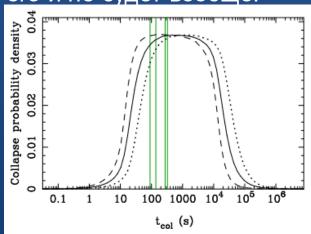
Возникновение супрамассивного магнитара после слияния

и последующий коллапс в черную дыру.



$$t_{\rm col} = \frac{3c^3I}{4\pi^2B_p^2R^6} \left[\left(\frac{M_p - M_{\rm TOV}}{\alpha M_{\rm TOV}} \right)^{2/\beta} - p_0^2 \right].$$

Если коллапс не произошел за полдня, то, скорее всего, его и не будет вообще.



Возникает спустя часы после слияния.

Т.е. после короткого гамма-всплеска и всплеска гравитационного излучения.

Нормальные звезды

Вспышки звезд главной последовательности на расстояниях менее нескольких тысяч световых лет. Мера дисперсии связана с оболочкой вокруг звезды.



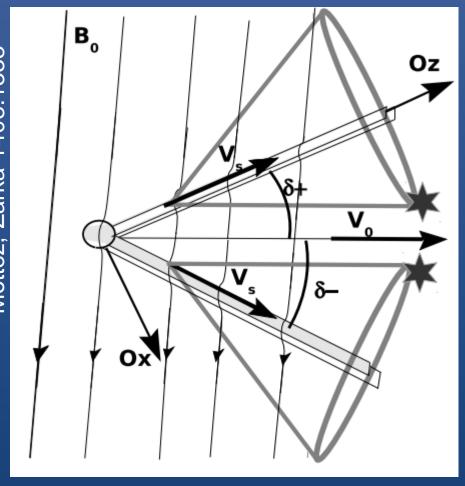
Модель закрыта наблюдениями. https://www.cfa.harvard.edu/news/2013-30 Предсказывалось распределение, соответствующее близким галактическим источникам. Плюс, должны были бы быть обнаружены сами вспыхивающие звезды.

Не звезды!

Показано, что радиовсплески необходимой мощности не могут быть сгенерированы, если плотность плазмы в области генерации излучения и вблизи нее настолько велика, чтобы обеспечить необходимую меру дисперсии.

Данные по повторяющимся всплескам также исключают звездную модель, т.к. мера дисперсии у повторных примерно одинакова, чего не должно быть для вспышек на звездах.

МГД процессы в двойной системе

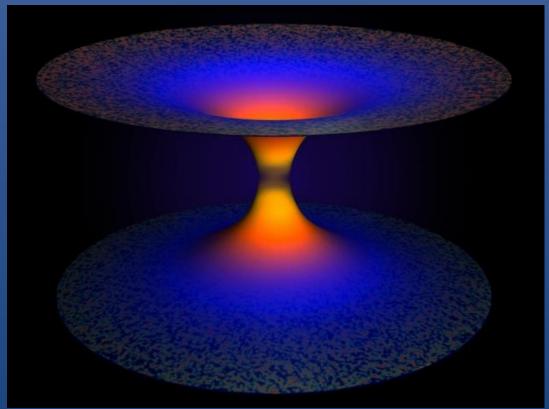


Если вокруг пульсара вращается тело (планета и тп.), то будет происходить довольно сложное взаимодействие ветра пульсара с телом, приводящее к ряду интересных эффектов. Одним из них может быть направленное радиоизлучение, возникающее в результате неустойчивости в сформировавшейся структуре вокруг тела в ветре.

Если наблюдатель оказывается точно на луче, то он будет наблюдать резкую вспышку радиоизлучения.

Максимальное расстояние несколько Мпк.
Поэтому ожидалась бы ассоциация с близкими галактиками.
Кроме того, должна быть периодичность.

Белые дыры (из черных)



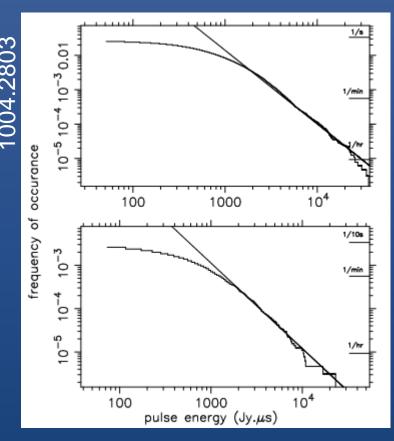
Изначальные расчеты не предсказывали появление радиоизлучения. Но авторы 1409.4031 полагают, что в модели достаточно неопределенностей, чтобы предполагать и появление радиоволн. Длина волны соответствует размеру взрывающейся дыры.

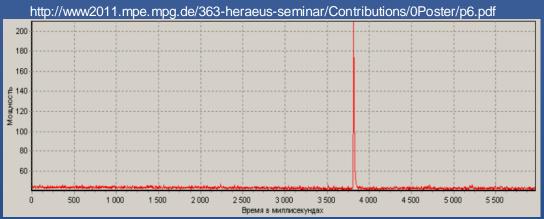
Мы плохо знаем, как испаряются черные дыры. В некоторых моделях это сопровождается появлением белой дыры (при коллапсе квантовые петли нельзя упаковать бесконечно плотно).

Испарением черных дыр уже было названо как возможная причина FRBs. В этом случае ударная волна взаимодействует с внешним магнитным полем.

Но излучение в случае появления белых дыр имеет совсем другую природу – это уже эффект квантовой гравитации. 1409.4031

Сверхгигантские импульсы внегалактических радиопульсаров



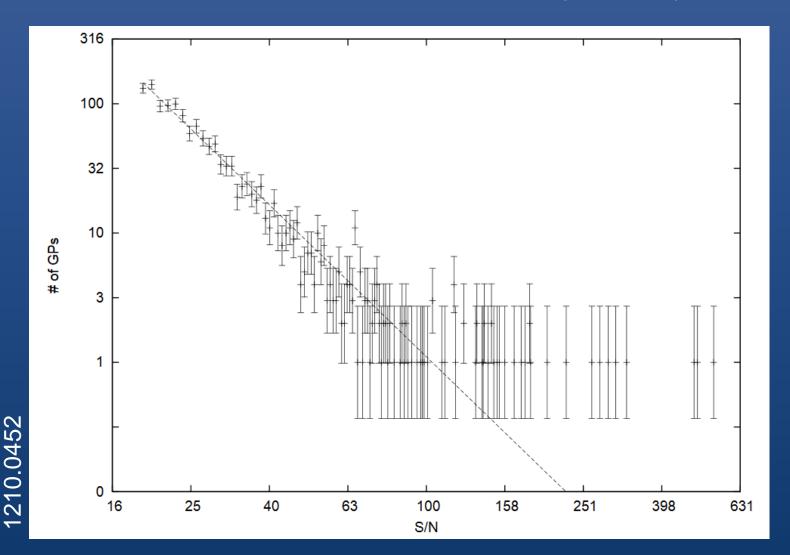


Известны гигантские импульсы пульсаров. Возможно, распределение тянется дальше, и есть супергигантские импульсы. Они могут быть видны и с внегалактических расстояний.

В некоторых моделях вспыхивающие пульсары находятся в достаточно молодых и плотных остатках сверхновых, что помогает объяснить некоторые из свойств всплесков.

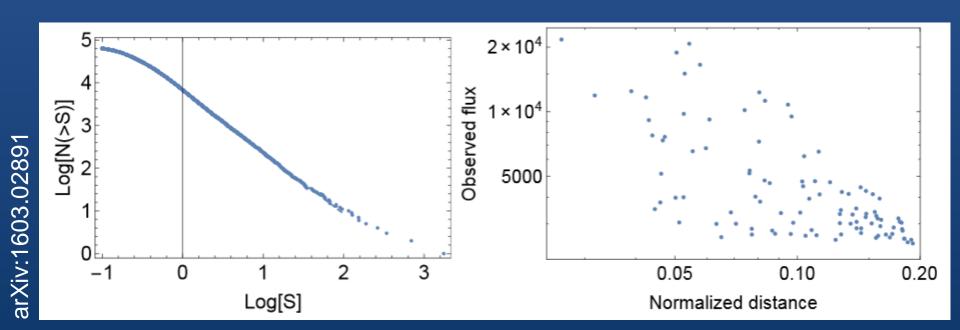
Распределение гигантских импульсов Краба

Дифференциальное распределение по мощности имеет наклон ~ -3 (для разных времен и частот колеблется между 2.3 и 3.5).



Суперимпульсы молодых пульсаров в плотных остатках сверхновых

Возраст 30-100 лет Равномерное распределение по Edot в логарифме Поглощение низкочастотного излучения в остатке Повторяемость всплесков Всплески равномерно распределены по расстояниям до них



Дисперсия в плотном остатке сверхновой

$$DM \approx \frac{M_{ej}}{m_p r^2}$$

$$DM \approx \frac{M_{ej}}{m_p r^2}$$
 $r = \sqrt{M_{ej}/m_p} \frac{1}{\sqrt{DM}} = 0.34 \text{pc} \sqrt{m_{\odot}} DM_{375}^{-1/2}$

$$\frac{M_{swept}}{M_{ej}} = \sqrt{M_{ej}/m_p} \frac{n_{ISM}}{\mathrm{DM}^{3/2} \mathrm{pc}^{3/2}} = 4.5 \times 10^{-4} n_{ISM} \sqrt{m_{\odot}} \ll 1,$$

$$v_{ej} = \sqrt{\frac{2E_{ej}}{M_{ej}}}.$$

$$v_{ej} = \sqrt{\frac{2E_{ej}}{M_{ej}}}.$$
 $t = \frac{M_{ej}}{\sqrt{2DME_{ej}m_p}} = 35 \text{yrs } m_{\odot}$

$$\tau = 8 \times 10^{-2} n^2 \nu^{-2.1} r T^{-1.35} = 0.05 \,\mathrm{DM}_{375}^{5/2} m_{\odot}^{-1/2} \nu_{9}^{-2.1}$$

arXiv:1603.02891

Всплески как суперимпульсы

$$\eta = \frac{L_{GP}}{\dot{E}_{Crab}} = \frac{\nu c^3 d_{Crab}^2 S_{\nu} P_{NS}^4}{4\pi^3 B_{NS}^2 R_{NS}^6} \approx 10^{-2},$$

$$L_{FRB} = \eta \dot{E} \to B_{NS} = \frac{c^{3/2} d\sqrt{(\nu F_{\nu})} P_{NS}^2}{2\pi^{3/2} R_{NS}^{3/2} \sqrt{\eta}} = 2 \times 10^{13} d_{100 \text{Mpc}} F_{30 \text{Jy}}^{1/2} \tau_{5 \text{msec}}^2 \sqrt{\nu_9} \eta_{-2}^{-1/2} \text{ G}.$$

$$\tau_{SD} = \frac{\pi \eta I_{NS}}{d^2 F_{\nu} \mu P^2} \sim \text{few years.}$$

Частота всплесков

Темп вспышек сверхновых 3 10⁻⁴ год⁻¹ Мпк⁻³ (Dahlen et al. 2012).

Это дает примерно 1 сверхновую в день в 100 Мпк.

Возраст и продолжительность активности наших источников ~30 лет.

Т.е. у нас 10 000 источников в 100 Мпк.

Наблюдаемый темп FRB ~3 10³ в день.

T.e., каждый источник должен давать по всплеску в день (можно взять 200 Мпк, тогда мы можем взять лишь ~10% самых энергичных).

Гигантские импульсы Краба с потоком 100-200 кЯн при росте dotE в 100 000 раз дадут всплески порядка Ян с 100-200 Мпк.

Самые мощные гигантские импульсы (2 Мян) перейдут в неск. десятков Ян.

Число гигантских импульсов ~S⁻³.

Для FRB мы получаем, что самые яркие (типа лоримеровского) должны наблюдаться раз в несколько месяцев.

arXiv:1603.02891

Начальные параметры

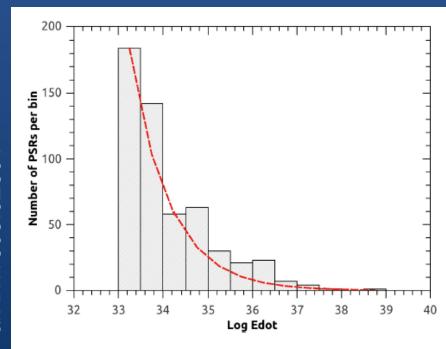
$$f(P) \propto P^{1/2}$$
 $f(\dot{E}) \propto \dot{E}^{-11/8}$

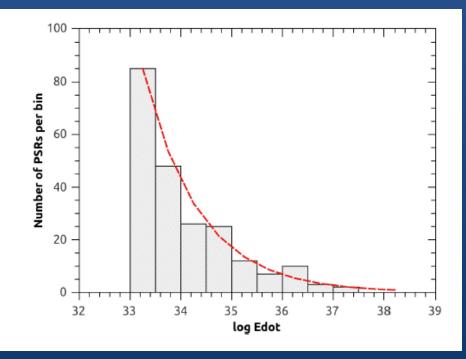
$$f_{inj}(\dot{E}) \propto \dot{E}^{-\beta}$$

Подходит темп рождения, f равномерно распределенный по Edot в логарифмическом масштабе $f_{inj} \propto 1/\dot{E}$

$$f(\dot{E}) \propto c_1 \dot{E}^{-1/2-\beta} + c_2 \dot{E}^{-3/2}, \beta \neq 1$$

 $f(\dot{E}) \propto \frac{\ln(\dot{E}_0/\dot{E})}{\dot{E}^{3/2}}, \beta = 1$





Монте-Карло моделирование

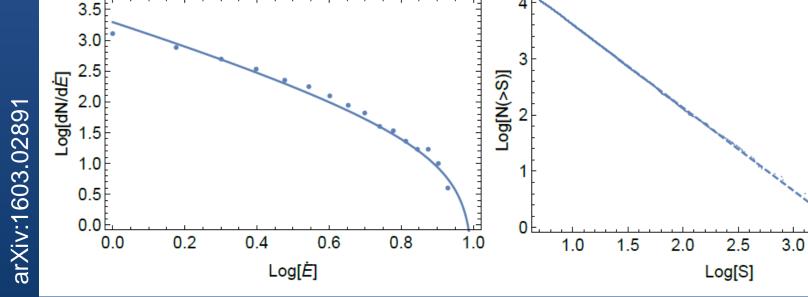
 $f_{inj} \propto \dot{E}^{-1}$

$$\partial_t \dot{E} \propto -\dot{E}^{-3/2}$$

 $S \propto \dot{E}/r^2$.

3.5

4.0



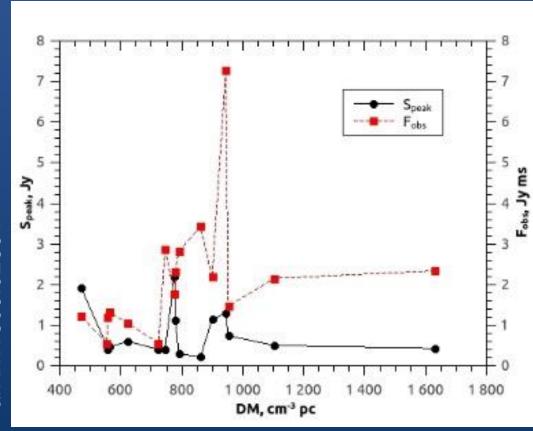
Распределение по расстояниям и DM

$$S \propto \frac{\dot{E}}{r^2} \propto \dot{E} f(\dot{E})^{2/3}$$

$$S \propto \dot{E}^{(1-2\alpha/3)} \propto r^{-2+3/\alpha}$$

$$\dot{E} = \frac{\dot{E}_0}{(1 + t/\tau)^2},$$

$$DM = \frac{M_{ej}^2}{2E_{ej}m_p\tau} \frac{\dot{E}}{(\dot{E} + \dot{E}_0)^2}$$



arXiv:1603.02891

FRB vs. ULX

В модели, в которой всплески порождаются молодыми пульсарами на d∼(100-200) Мпк, можно ожидать, что эти НЗ будут стабильными источниками рентгеновского излучения большой мощности – ULX.

$$L_{\rm X} \approx 2 \times 10^{42} \left(\dot{E} / 10^{43} \ {\rm erg \ s^{-1}} \right)^{1.34} \ {\rm erg \ s^{-1}},$$
 (Possenti et al. 2002)

Поиск ULX позволит подтвердить или закрыть модель в ближайшие годы.

For a typical FRB with peak flux $S_{\text{peak}} = 1$ Jy we obtain radio luminosity:

$$L_{\rm r} = 1.7 \times 10^{40} (S_{\rm peak}/1 \,{\rm Jy}) (d/100 \,{\rm Mpc})^2 \,{\rm erg \, s}^{-1}.$$

Then, rotational energy losses are:

$$\dot{E} = 1.7 \times 10^{42} (S_{\text{peak}}/1 \text{ Jy}) (d/100 \text{ Mpc})^2 (\eta/0.01)^{-1} \text{ erg s}^{-1}.$$

Using the relation from Possenti et al. we obtain the X-ray luminosity:

$$L_{\rm X} = 1.8 \times 10^{41} (S_{\rm peak}/1 \, {\rm Jy})^{1.34} \times$$

$$\times (d/100 \,\mathrm{Mpc})^{2.68} (\eta/0.01)^{-1.34} \,\mathrm{erg \, s^{-1}}.$$

And so, the X-ray flux is:

$$f_{\rm X} = 1.5 \times 10^{-13} (S_{\rm peak}/1 \,{\rm Jy})^{1.34} \times$$

$$\times (d/100\,\mathrm{Mpc})^{0.68} (\eta/0.01)^{-1.34} \mathrm{erg cm}^{-2} \mathrm{s}^{-1}.$$

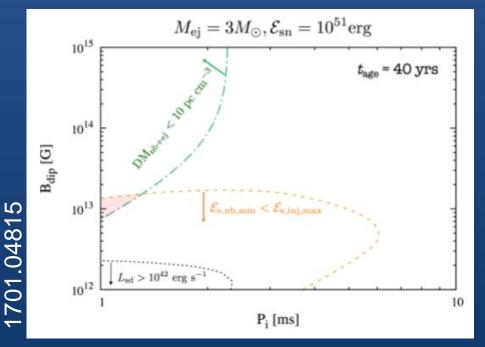
For large distances we obtain higher f_X for a given S_{peak} , for smaller — weaker. If a source with peak flux 1 Jy is at 10 Mpc, then $f_X = 3.2 \times 10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Correspondently, for 200 Mpc we have $f_X = 2.5 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

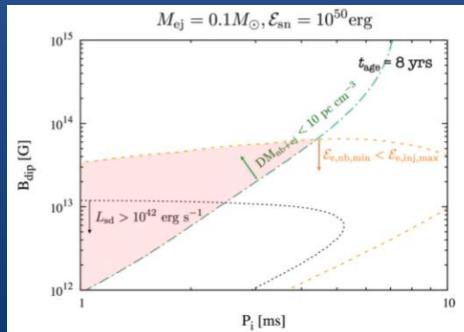
Ограничения на параметры модели

Пульсарная модель может объяснить свойства повторного всплеска, но нужна довольно точная подгонка параметров нейтронной звезды и вспышки сверхновой.

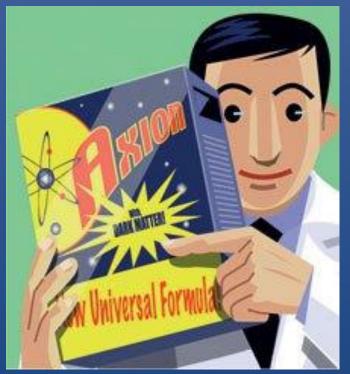
При массе сброшенной оболочке порядка нескольких масс Солнца не хватает энергии вращения для объяснения всплесков.

В чисто пульсарной модели нужны очень легкие сброшенные оболочки (могут возникать в двойных системах, где звезда уже была ободрана до взрыва).





Аксионы



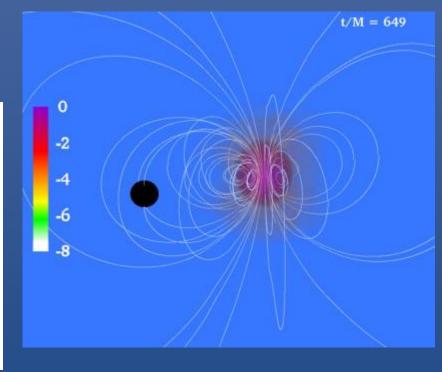
Аксионы – кандидаты в частицы темного вещества. Аксионные миникластеры. Возникают в молодой вселенной. Масса – как у крупного астероида. Размер – как у звезды.

Кластер может становиться более компактным из-за образования бозе-конденсата. Размер может быть порядка сотен км, что соответствует ожидаемой области излучения быстрого радиовсплеска (длительность х скорость света). Масса компактного кластера может составлять примерно массу Земли!

Влетание аксионного кластера в магнитосферу нейтронной звезды должно приводить к конверсии аксионов в фотоны, а значит – к вспышке электромагнитного излучения.

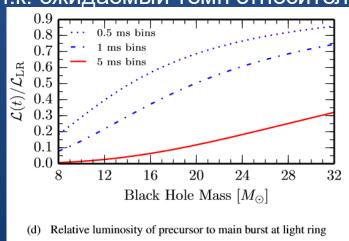
1411.3900, 1410.4323, 1512.06245

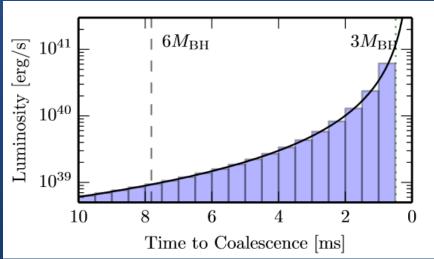
1/M = 509 1/M = 500 1/M = 500



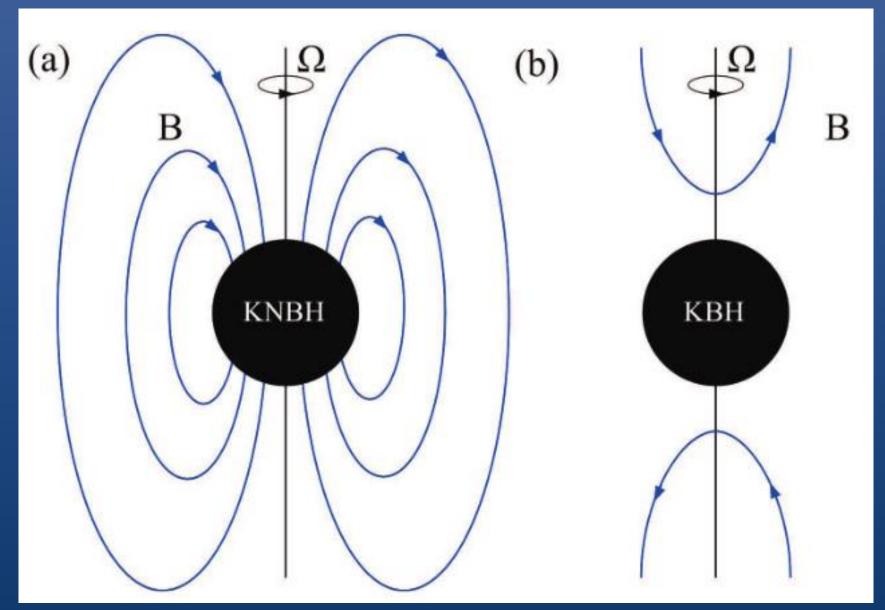
Эта модель должна работать не для всех всплесков,

т.к. ожидаемый темп относительно мал.

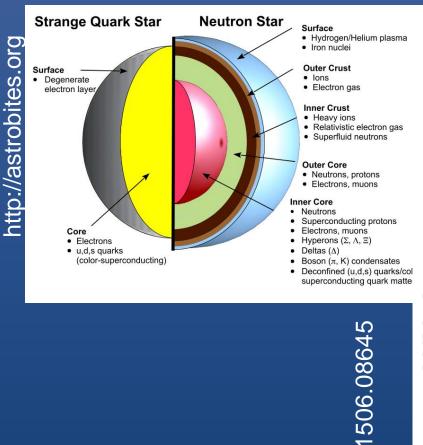




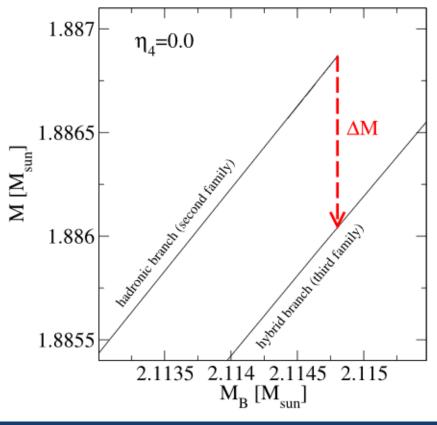
Коллапс магнитосферы черной дыры Керра-Ньюмена



Деконфайнмент – рождение кварковой звезды

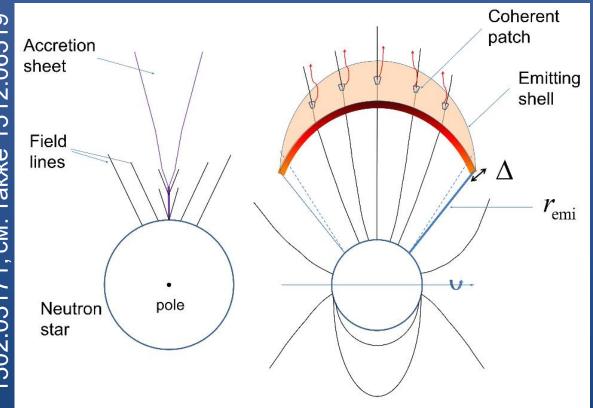


В процессе своей эволюции нейтронная звезда или ее часть могут испытать деконфайнмент: обычное вещество превратится в кварковое. Это сопровождается энерговыделением.



Также FRB пытаются воспроизвести в модели т.н. «кварковой новой» (1505.08147).

Падение астероидов



Для FRB активно предлагают механизмы, которые ранее предлагались (лет 30 назад) для объяснения гамма-всплесков. Вот один из них.

Дело в том, что для НЗ характерное время падения вблизи поверхности составляет миллисекунды. Поэтому любой феномен с такой длительностью соблазнительно объяснить так

После падения массивного астероида возникает оттекающая оболочка. Затем часть вещества разгоняется, и в результате генерируется радио излучение. Механизм радиоизлучения не слишком очевиден. Должна быть слабая рентгеновская вспышка.

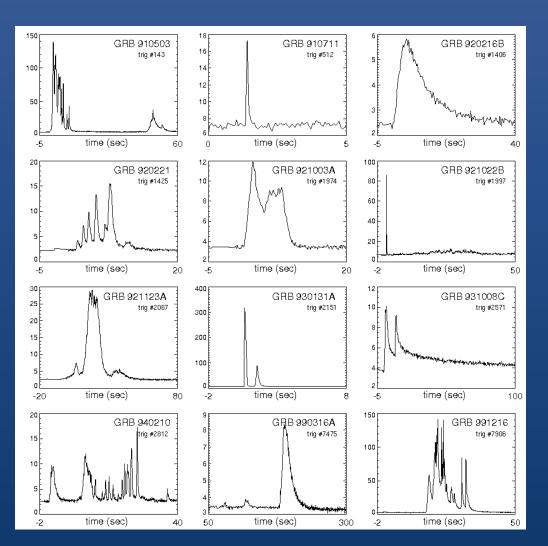
О модификации модели с повторными всплесками см. 1603.08207

Об испарении астероидов пульсарами см. 1605.05746.

Гамма-всплески

Многие модели FRB так или иначе связаны с гамма-всплесками.



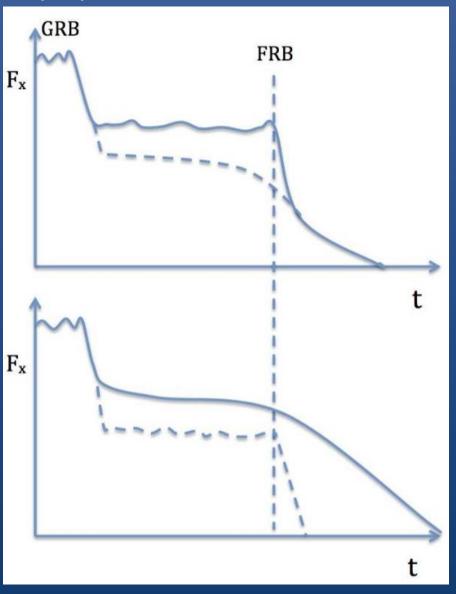


Сама история FRB чем-то похожа (пока) на историю гамма-всплесков.

Слияния нейтронных звезд, супрамассивные НЗ, миллисекундные магнитары потенциально связаны с GRB.

Поиски гамма-всплесков, связанных с быстрыми радиовсплесками не дал результатов (1406.1850).

Супрамассивные НЗ и гамма-всплески

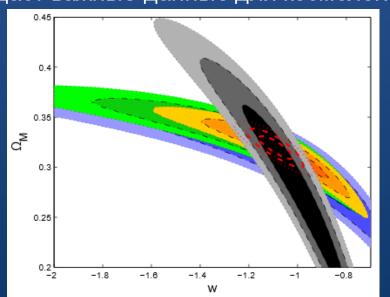


Модель включает в себя образование миллисекундного магнитара (Усов 1992).

При этом не все FRB должны сопровождаться GRB, и наоборот.

Тогда возникают проблемы с темпом FRB.

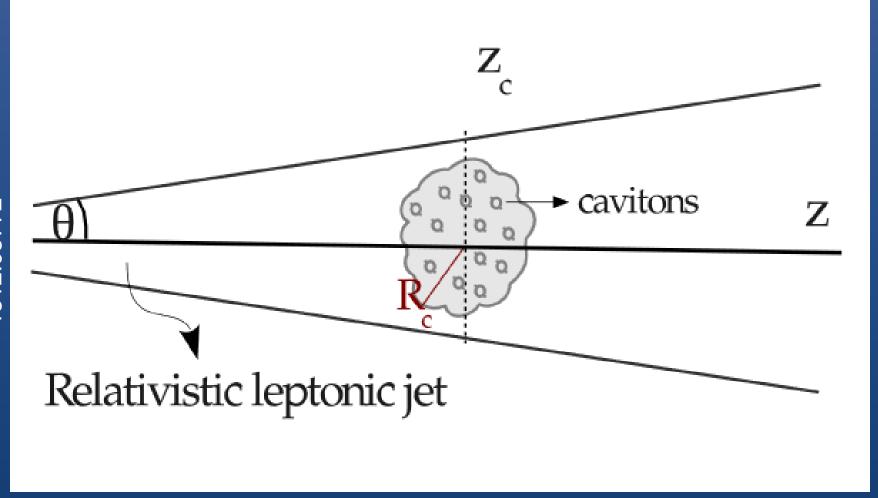
Статистика совместных данных по FRB и GRB (если эта модель верна) даст важные данные для космологии.



1402.2498

Zhang 1310.4893

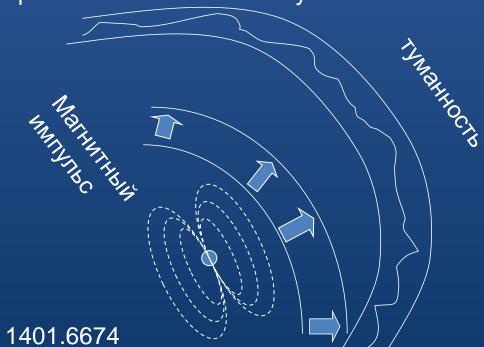
Джеты: Гамма-всплески и активные ядра галактик

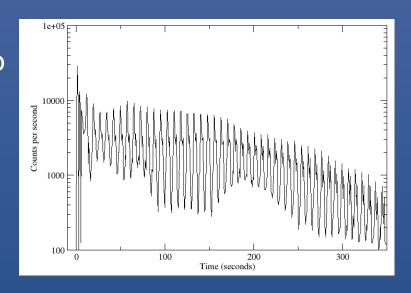


Тормозное излучение в сильной плазменной турбулентности, возбужденной потоком релятивистских электронов.

Гипервспышки магнитаров?

Сразу же после публикации
Lorimer et al. (2007) мы предложили
модель (0710.2006, 1307.4924),
в которой вспышки связаны
с гипервсплесками магнитаров.
Темп, временные характеристики и
отсутствие всплеска в других диапазонах
находят прекрасное объяснение.
Энергетика также соответствует.

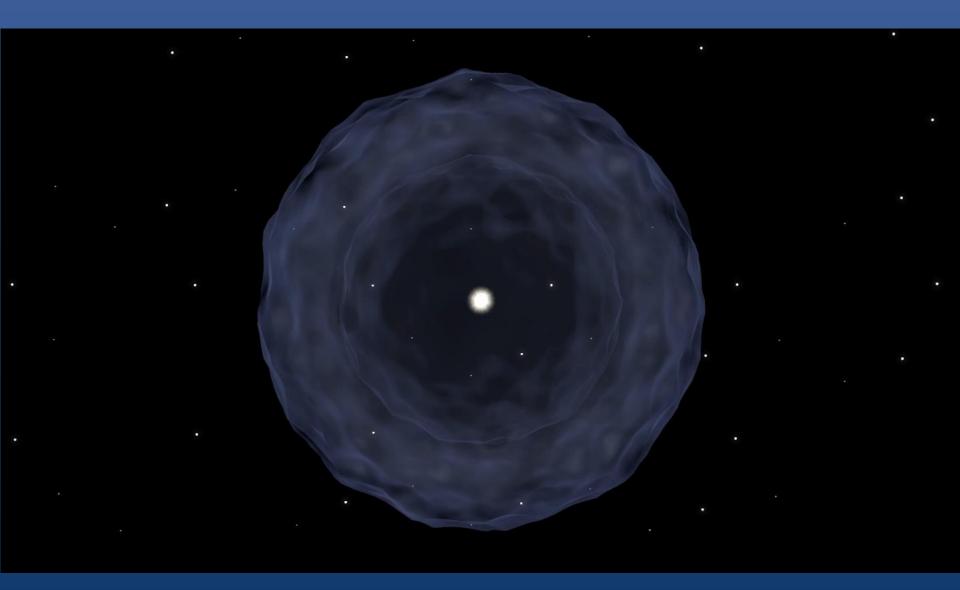




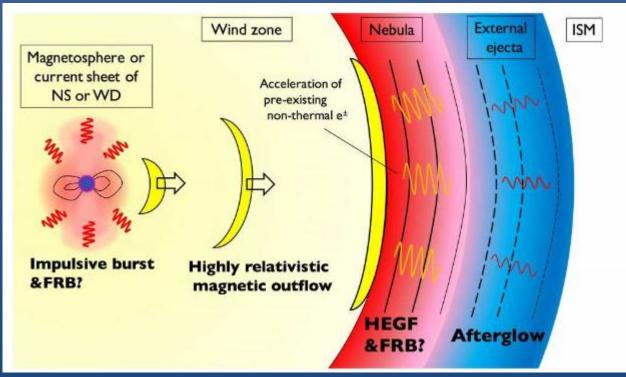
Юрий Любарский в 2014 году построил теоретическую модель, которая позволяет объяснить радиовсплески в рамках магнитарной модели. Пока модель не опровергнута наблюдениями. Для подтверждения необходимо обнаружить магнитарную вспышку Или, что следует из расчетов Любарского, излучение на очень высоких энергиях.

Модель надо развивать

Магнитар в плотной туманности

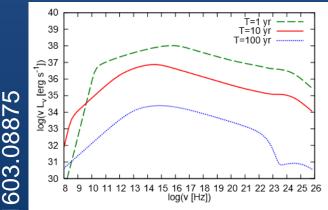


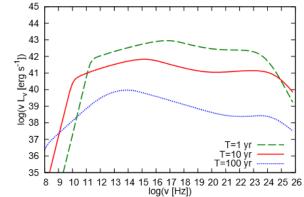
Излучение туманности

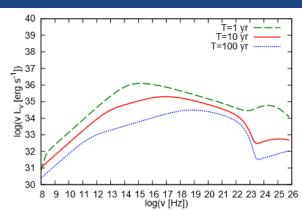


Рассмотрени модели с излучением туманности получило развитие.

Рассмотрены туманности вокруг магнитаров, быстро вращающихся Н3 и белых карликов.



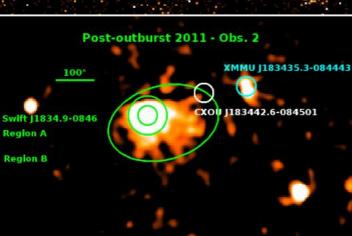


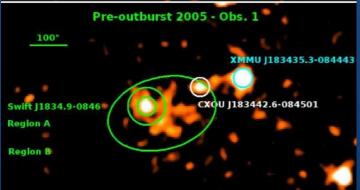


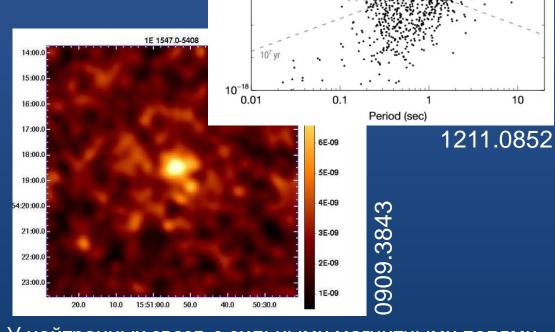
Туманности вокруг магнитаров



О генерации пульсарных туманностей вокруг магнитаров см. 1606.01391







10-12

 10^{-15}

Period derivative

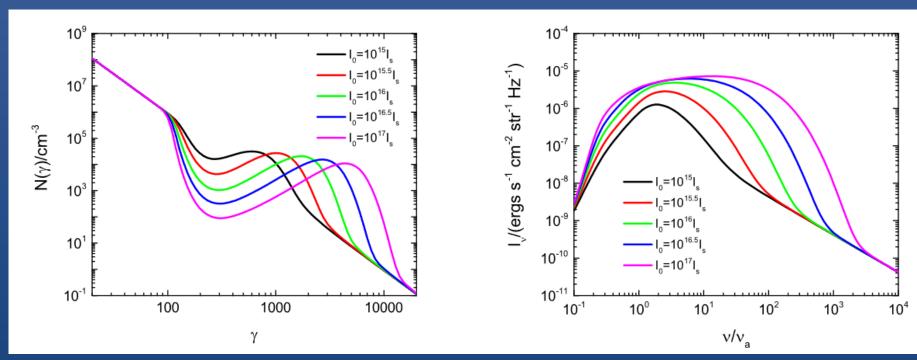
Rotation-powered, B < 4x10¹

PSR J1846-0258

Anomalous X-ray PSRs

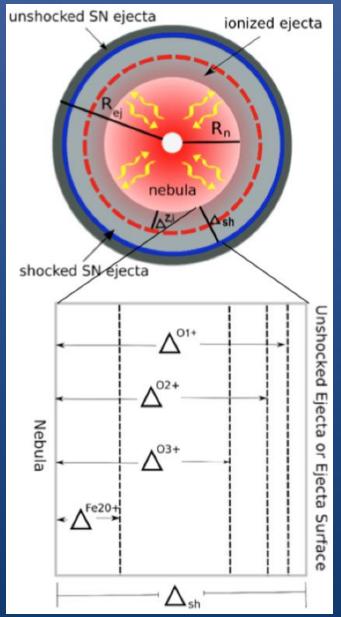
У нейтронных звезд с сильными магнитными полями (включая нормальные магнитары) наблюдают т.н. пульсарные туманности.

Взаимодействие всплеска с туманностью



Всплеск вблизи туманности может привести к ее подсветке (возбуждению) и появлению спектральных деталей.

Молодой миллисекундный магнитар



$$L_{\rm sd} = 5 \times 10^{46} B_{14}^2 P_{\rm ms}^{-4} \left(1 + \frac{t}{t_{\rm sd}} \right)^{-2} \, \rm erg \, s^{-1}$$

$$\underset{t \gg t_{\rm sd}}{\approx} 8 \times 10^{40} B_{14}^{-2} t_{10}^{-2} \, \rm erg \, s^{-1},$$

$$P = P_0 \left(1 + \frac{t}{t_{\rm sd}} \right)^{1/2} \underset{t \gg t_{\rm sd}}{\approx} 28 \,\mathrm{ms} \, B_{14} t_{10}^{1/2},$$

 $t_{\rm sd} \simeq 4.7 \, {\rm day} \, B_{14}^{-2} P_{\rm ms}^2.$

$$N_{\rm FRB} = \frac{E_{\rm B}}{E_{\rm FRB}}$$

$$\approx 3 \times 10^2 f_b^{-1} \left(\frac{f_{\rm r}}{10^{-8}}\right) \left(\frac{B_{\rm int}}{10^{16} \,{\rm G}}\right)^2 \left(\frac{E_{\rm FRB}}{10^{39} {\rm erg}}\right)^{-1} (5)$$

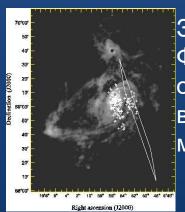
Число FRB от магнитара за его жизнь

Вспышки из М31

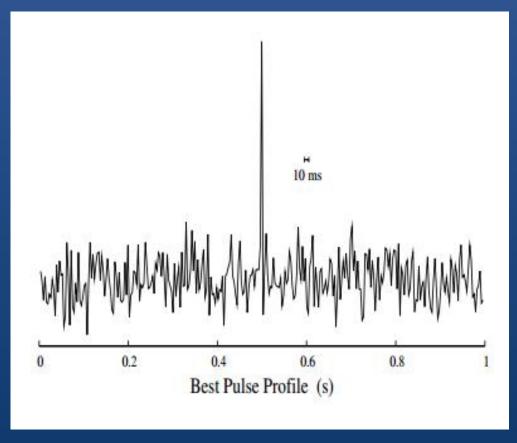
Затем Rubio-Herrera et al. (2013) обнаружили миллисекундные радиовсплески от туманности Андромеды.

Они похожи на слабую версию быстрых радиовсплесков. Возможно, они повторяются.

Это похоже на масштабированную версию, где за радиовсплески отвечают уже более слабые магнитарные вспышки. Было бы интересно увидеть такие же от других галактик и получить распределение по светимости.



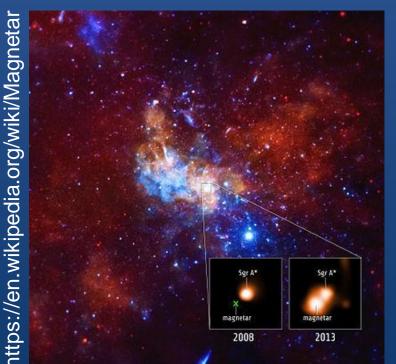
Заметим, что Фредерикс и др. (2005) обнаружили кандидата в гипервсплеск магнитара в М31.



«Ядерные» магнитары и др.

Существуют разные варианты магнитарной гипотезы:

- «Ядерные» магнитары магнитары в ядрах галактик, подобные SGR J1745-290 (1501.01341).
 У этого объекта мера дисперсии DM=1778.
 Идея состоит в том, что FRB дают внегалактические магнитары в центрах галактик.
- Молодые магнитары (1511.09137).



По мере роста количества данных магнитарная гипотеза (возможно с некоторыми уточнениями и вариациями) становится все более и более привлекательной.

Еще одна версия магнитарной модели

Аннигиляция

Поток гамма-лучей

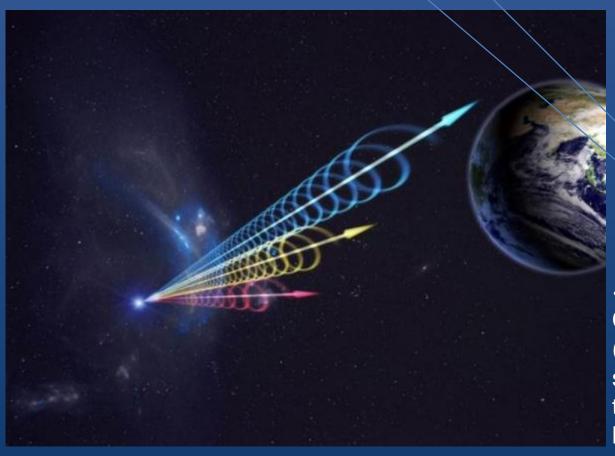
Комптоновское рассеяние на холодной плазме

Поток релятивистских электронов

Плазменная неустойчивость

Новые аргументы в пользу магнитаров

- Фарадеевское вращение (1512.00529)
- Плотная среда вокруг (1511.09137)
- Двухкомпонентные профили (1511.07746)



«... the detection in this instance of source-local magnetization and scattering favours models involving young stellar populations such as magnetars over models involving the mergers of older neutron stars.»

«Hyper-giant flares from young magnetars emerge as the most likely progenitors.»

«However the Cordes & Wasserman (2015) model of supergiant pulses and the Popov & Postnov (2007) hyperflares could both account for this structure."

Вспыхивающий магнитар

$$\nu_{\rm obs} \sim \frac{\Gamma c}{2\pi r_{\rm L}} = \frac{e (L_{\rm f} L_{\rm w})^{1/4}}{2\pi m_e c^{3/2} r} \approx \frac{3 \text{ GHz}}{r_{13}} (L_{\rm f,47} L_{\rm w,39})^{1/4}$$

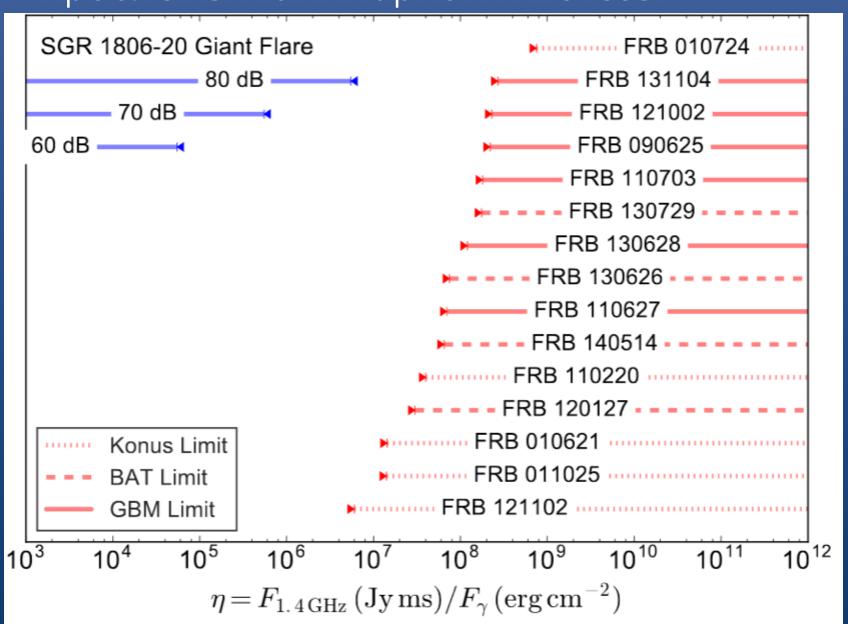
The coherent radiation has energy $E_{\rm FRB} \sim \varepsilon \, \sigma_{\rm w}^{-1} E(r)$,

$$E_{\rm FRB} \sim 10^{40} \, r_{13} \, \varepsilon_{-1} \, \sigma_{\rm w}^{-1} \, \Gamma_{\rm w,2}^{-2} (L_{\rm f,47} L_{\rm w,39})^{1/4} \, \, {\rm erg},$$
 (31)

observed duration

$$\tau_{\rm obs} \sim \frac{r}{\Gamma^2 c} \approx 3 \times 10^{-6} \, r_{13} \Gamma_4^{-2} \, \text{s.}$$

Проблемы магнитарной гипотезы



1602.02188

Текущий рейтинг гипотез

- Обнаружение повторных всплесков с высоким темпом дает аргументы в пользу супергигантских импульсов пульсаров
- Идентификация материнской эллиптической галактики и обнаружение сопутствующего медленного радиотранзиента дает аргументы в пользу слияния
- Комплекс данных дает несколько косвенных аргументов в пользу магнитарной гипотезы.

Выводы:

- На сегодняшний день есть три хорошие рабочие гипотезы.
- Возможно, популяция БРВ не однородна, т.е. все три гипотезы могут быть верны.

Будущие наблюдения



В недалеком будущем заработают новые крупные инструменты. Возможно, они помогут внести ясность. Кроме того, работающие системы, такие как LOFAR и другие, также могут сыграть свою роль.

Хотя наблюдать лучше на высоких частотах (порядка 1 ГГц), а не на низких (LOFAR).

FAST – всплеск за неделю 1602.06099



SKA – всплеск за час 1602.05165, 1501.07535

По всей видимости, как и случае гамма-всплесков, понадобится одновременное обнаружение быстрого радиовсплеска и сопутствующего излучения в другом диапазоне.

Ближайшее будущее



Работает новая система ALFABURST в Аресибо (1511.04132)

Идет поиски по архивам разных радиотелескопов.

Ключевые моменты:

- Повторяемость
- Обнаружение в другом диапазоне

Продолжаются наблюдения на радиотелескопе Parkes с новой системой мониторинга помех.



nttp://chime.phas.ubc.ca/

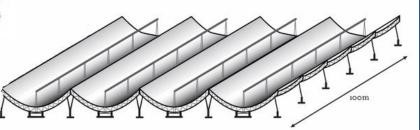
Специальные проекты



https://sites.google.com/site/publicsuperb/

CHIME

The Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment



CHIME – всплеск раз в день! 1601.02444 1406.2288

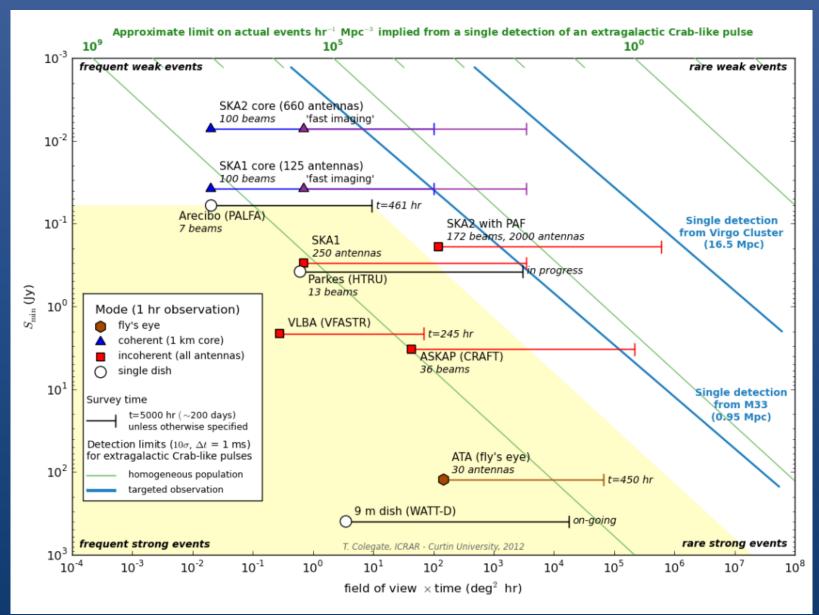


http://astronomy.swin.edu.au/research/utmost/ всплеск раз в неделю 1601.02444



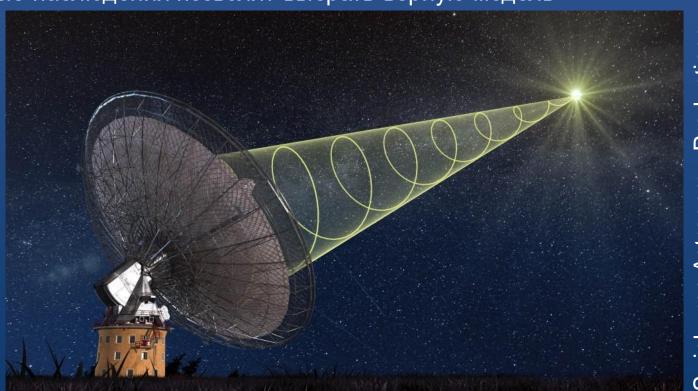
HIRAX. Строится прототип Южный вариант CHIME 1607.02059

Регистрация всплесков разными инструментами



Итого

- В 2007 г. был открыт новых класс транзиентных объектов
- Всплески (пока?) видны только в радио
- Известно менее 20 вспышек
- Число моделей превосходит число известных всплесков
- Сейчас есть три хорошие модели, поддерживаемые данными
- Ситуация похожа на проблему гамма-всплесков лет 40 назад
- Ждем, что новые наблюдения позволят выбрать верную модель



Обзоры

1604.01799 J. I. KATZ
 FAST RADIO BURSTS: A BRIEF REVIEW
 SOME QUESTIONS, FEWER ANSWERS