



(www.bradcovington.com)

Зоопарк нейтронных звезд

Сергей Попов
(ГАИШ МГУ)

Где почитать?

Элементы.Ру (www.elementy.ru)



Астронет (www.astronet.ru)



Земля и Вселенная
(ziv.telescopes.ru
blog.astrotop.ru)

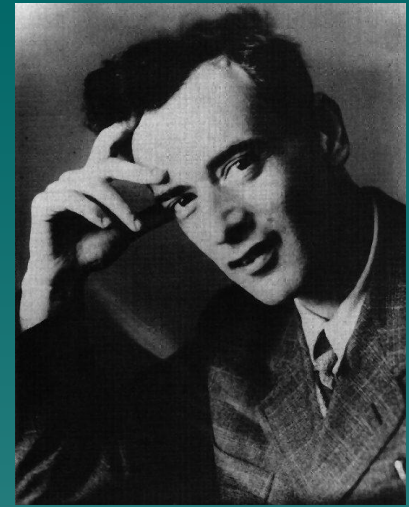


Предсказание ...

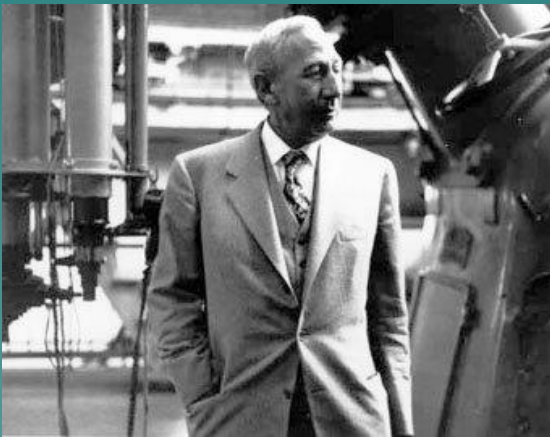
Нейтронные звезды были предсказаны в 30-е гг.

Л.Д. Ландау: Звезда-ядро

Бааде и Цвикки: нейтронные звезды и сверхновые



(Ландау)



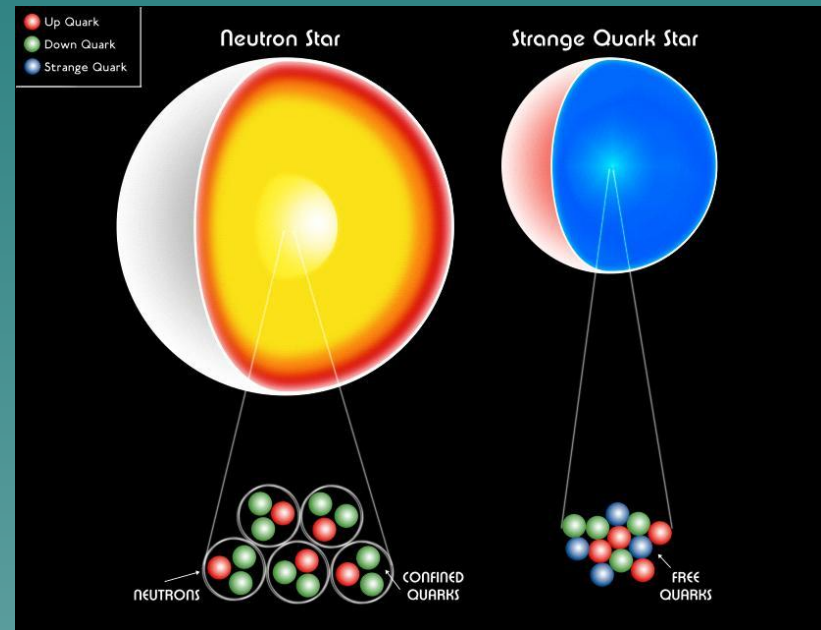
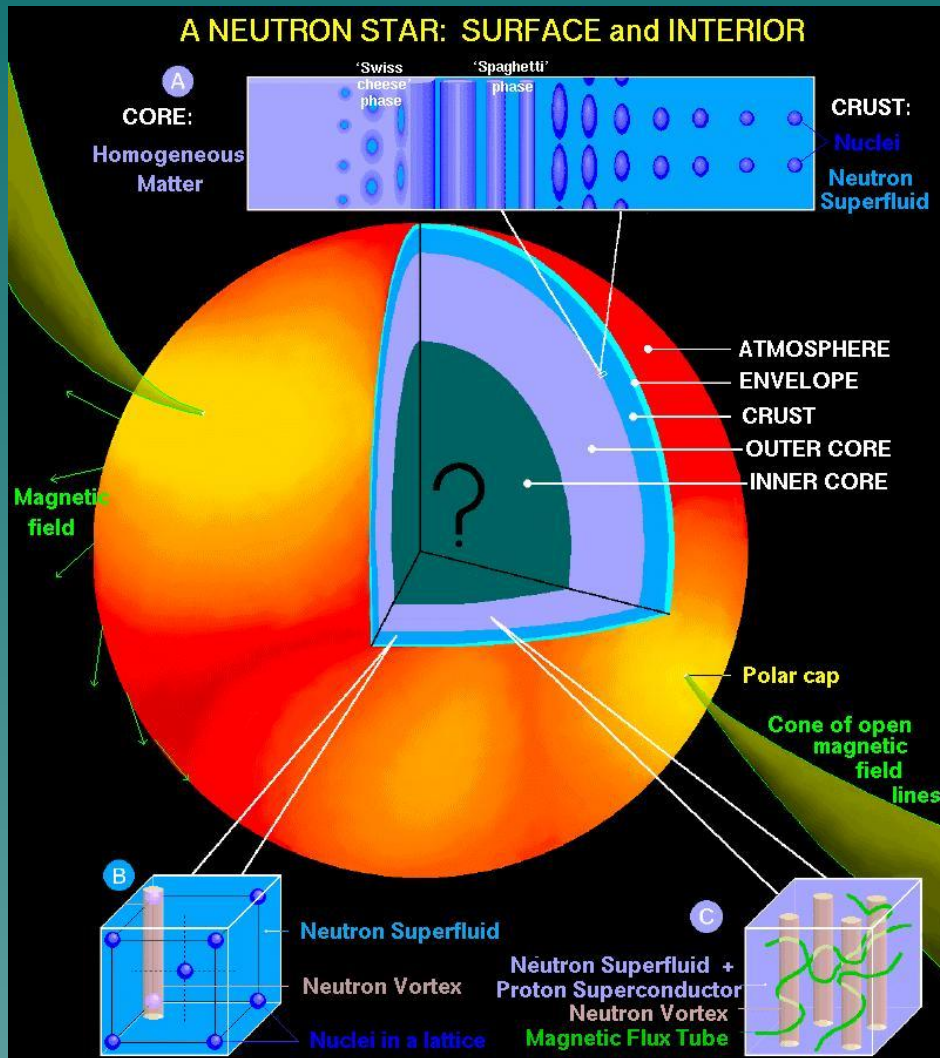
(Бааде)



(Цвикки)

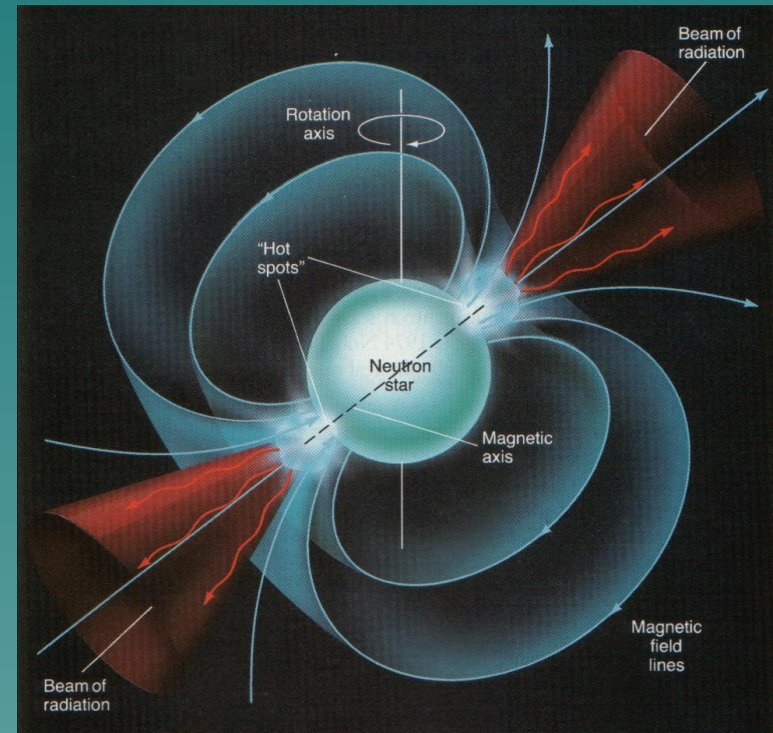
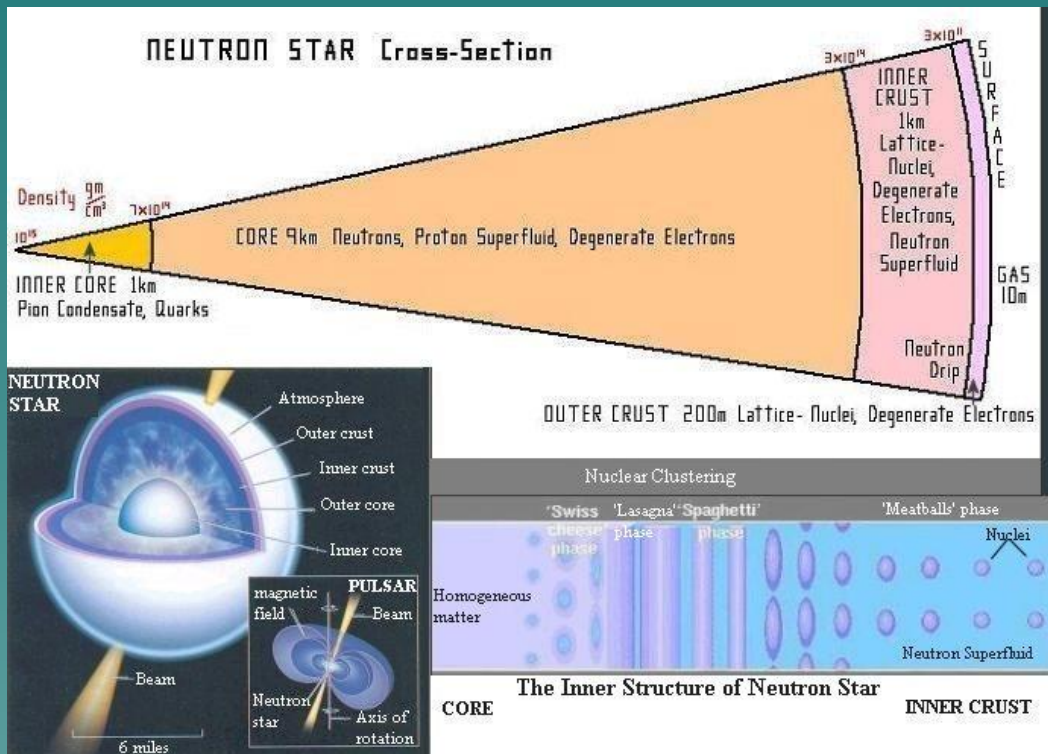
Нейтронные звезды

Радиус 10 км
Масса 1-2 солнечной
Плотность порядка ядерной
Сильные магнитные поля

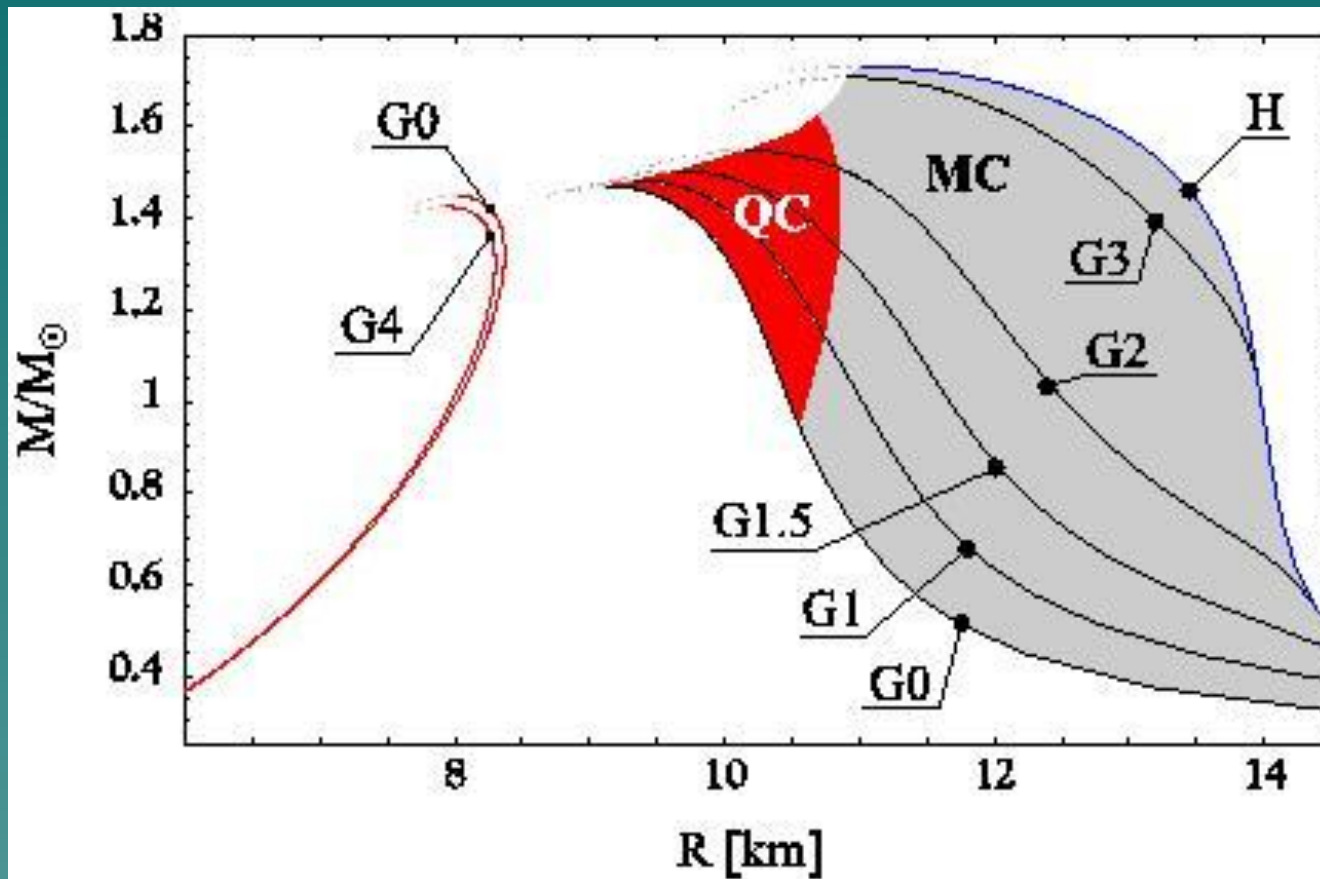


Нейтронные звезды - 2

Сверхплотное вещество и сверхсильные магнитные поля



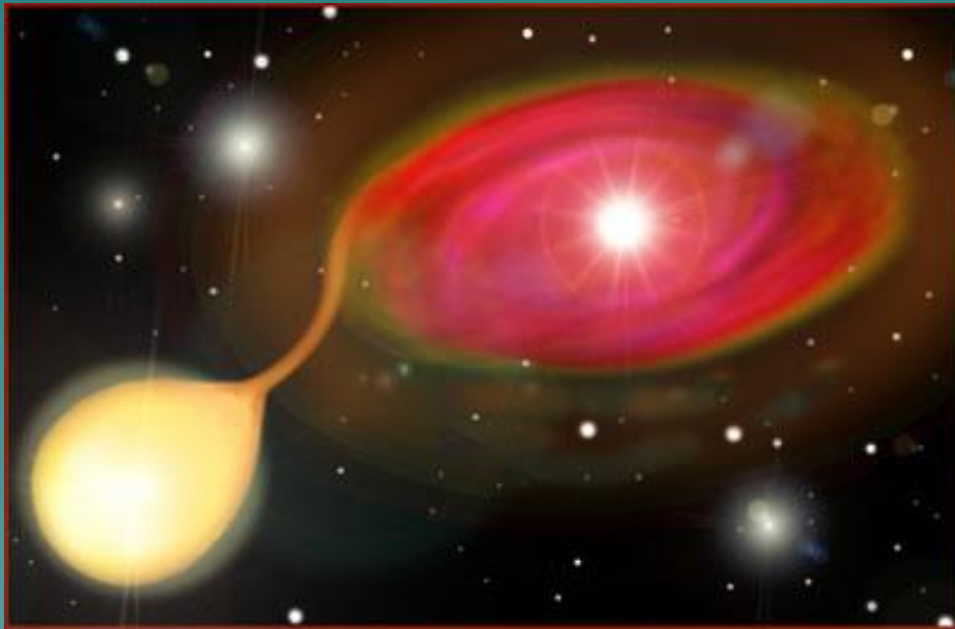
Зависимость масса-радиус



Старый зоопарк нейтронных звезд

В 60-е гг. были открыты первые рентгеновские источники.

Это были НЗ в тесных двойных системах, НО ...
.... их «не узнали»....



Сейчас известны сотни рентгеновских двойных с нейтронными звездами в нашей и других галактиках.

Ракетные эксперименты Sco X-1

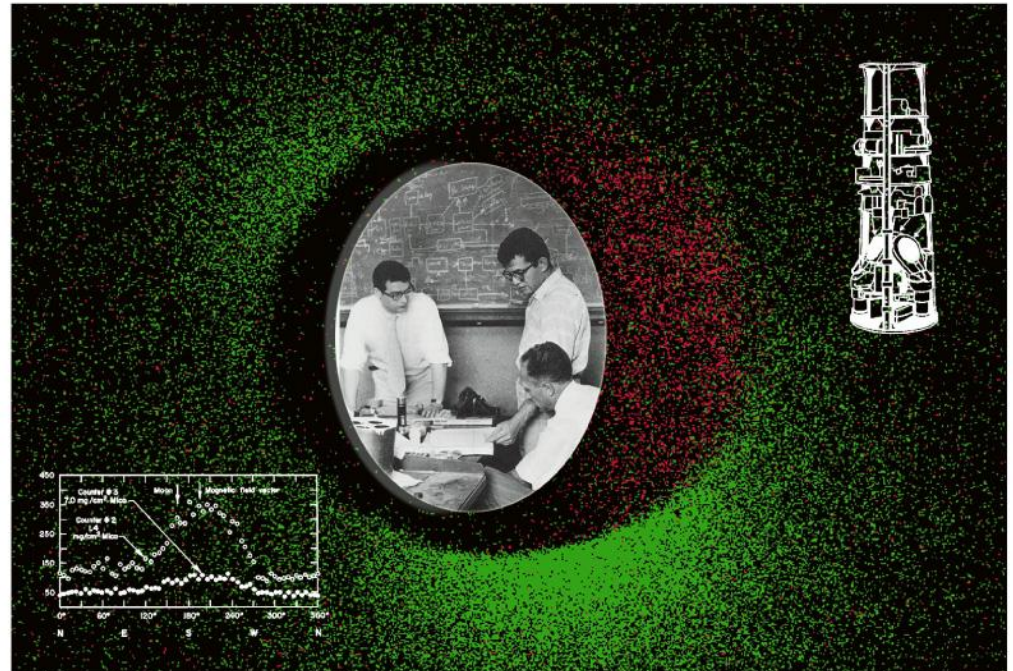
Giacconi, Gursky, Hendel

1962 год

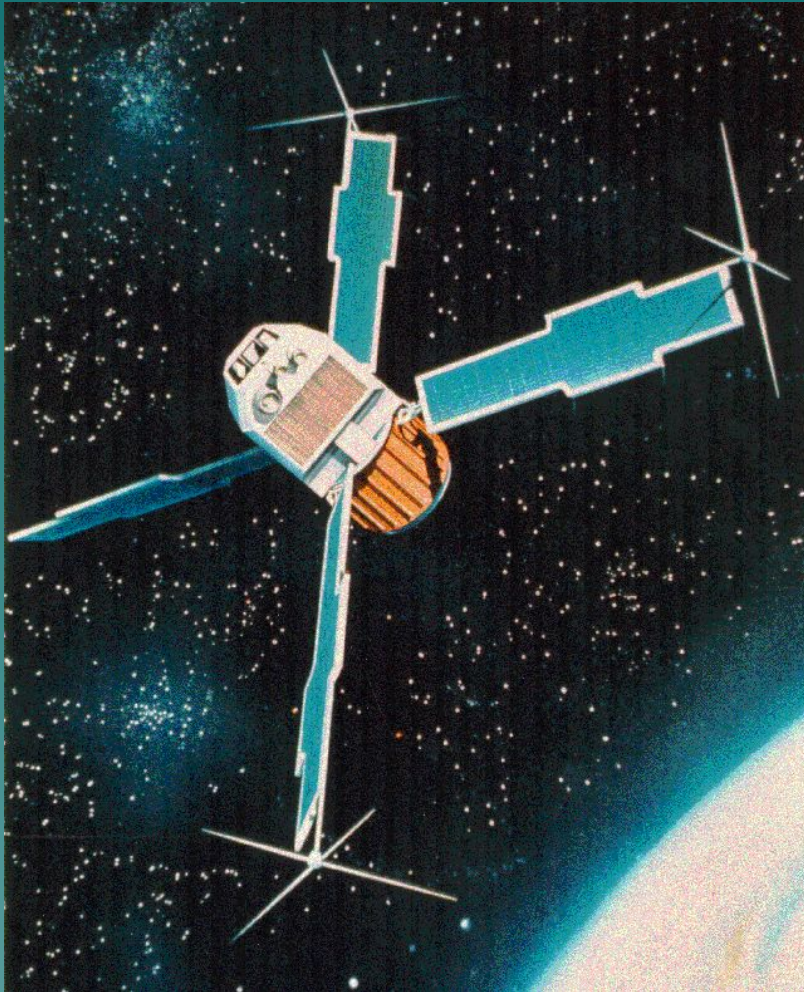
В 2002 г. Р.Джиаккони
получил Нобелевскую
премию по физике.

ROSAT Januar 2003

Max-Planck-Institut für
extraterrestrische Physik



UHURU



Спутник запущен 12 декабря 1970 г.
Закончил работу в марте 1973 г.

Другое название SAS-1

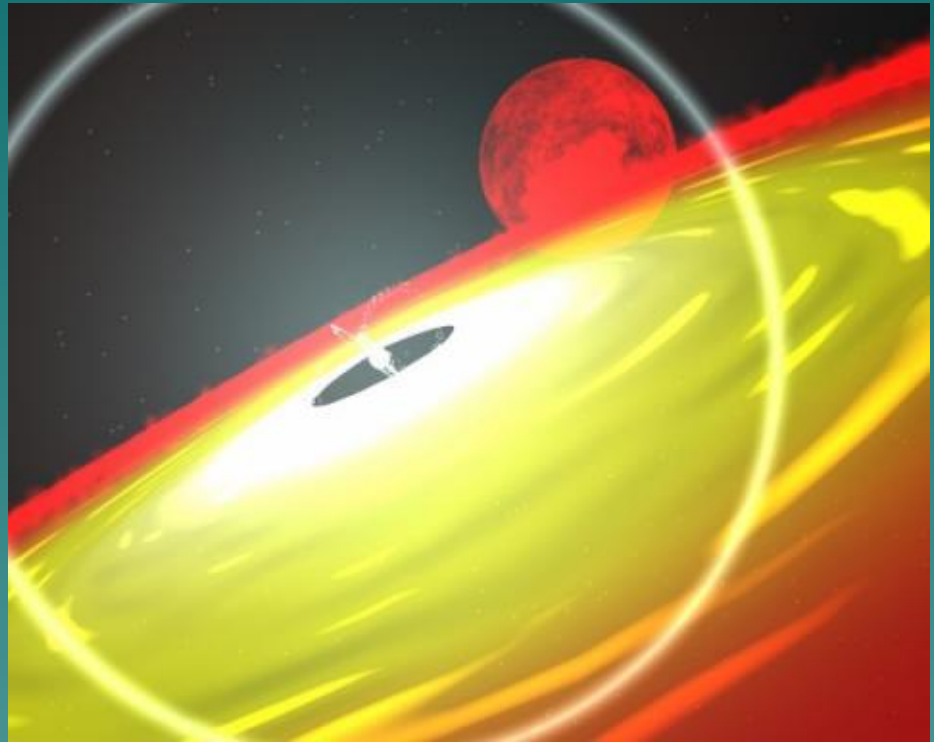
2-20 кэВ

Первый полный обзор неба.
339 источника.

Аккреция в тесных двойных

Аккреция – самый мощный источник энергии в мире из тех, что могут давать большой выход энергии.

При падении вещества на нейтронную звезду выделяется до 10% от mc^2



Аккреционный диск



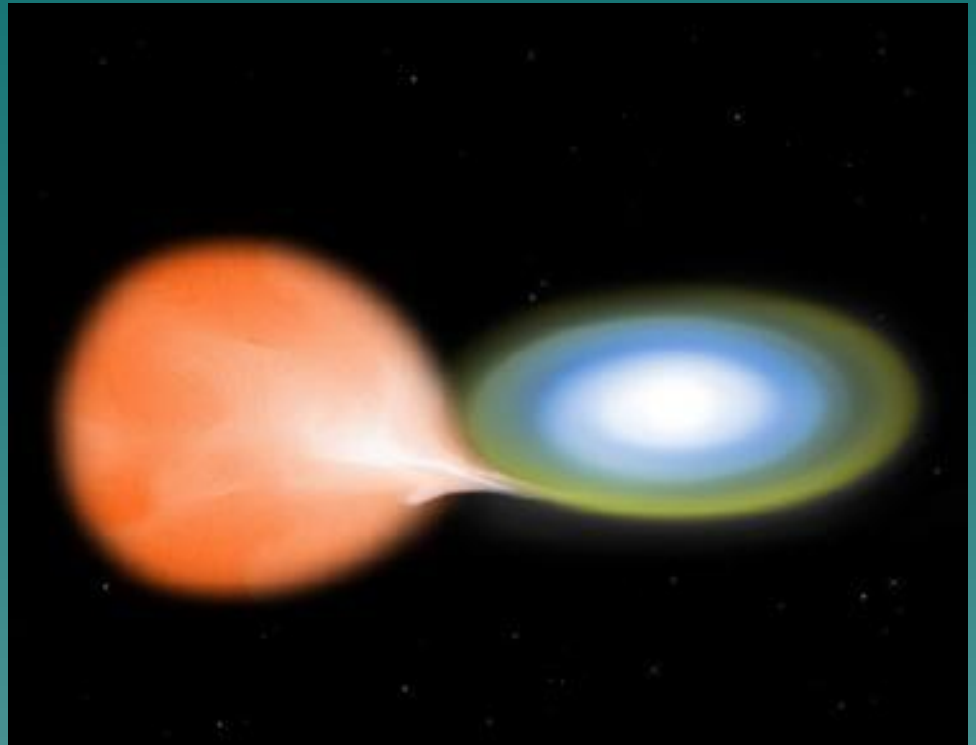
Теория создана
в 1972-73 гг.
Н.И.Шакура и
Р.А. Сюняев

Аккреция важна
не только для
двойных систем,
но и для активных
ядер галактик и
для других систем

Тесные двойные системы

Около $\frac{1}{2}$ массивных звезд входит в двойные системы.

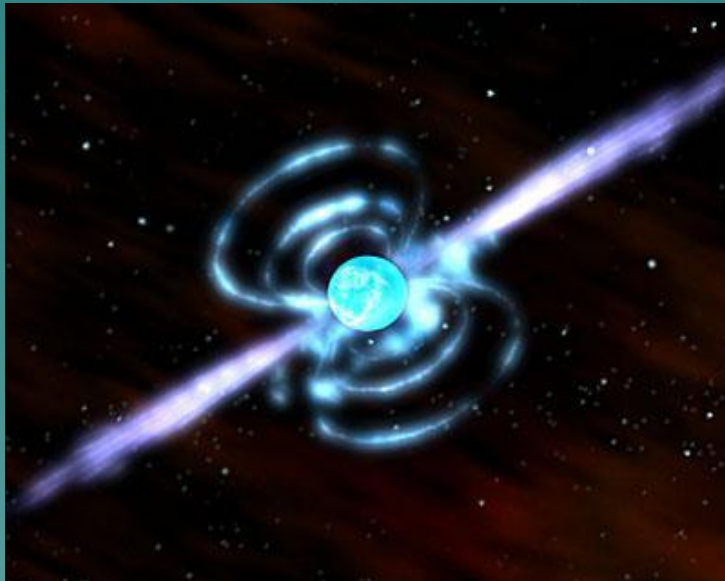
Сейчас в тесных двойных системах известны многие десятки нейтронных звезд.



Открытие !!!!

1967: Джоселин Белл. Радиопульсары.

Серендипическое открытие.



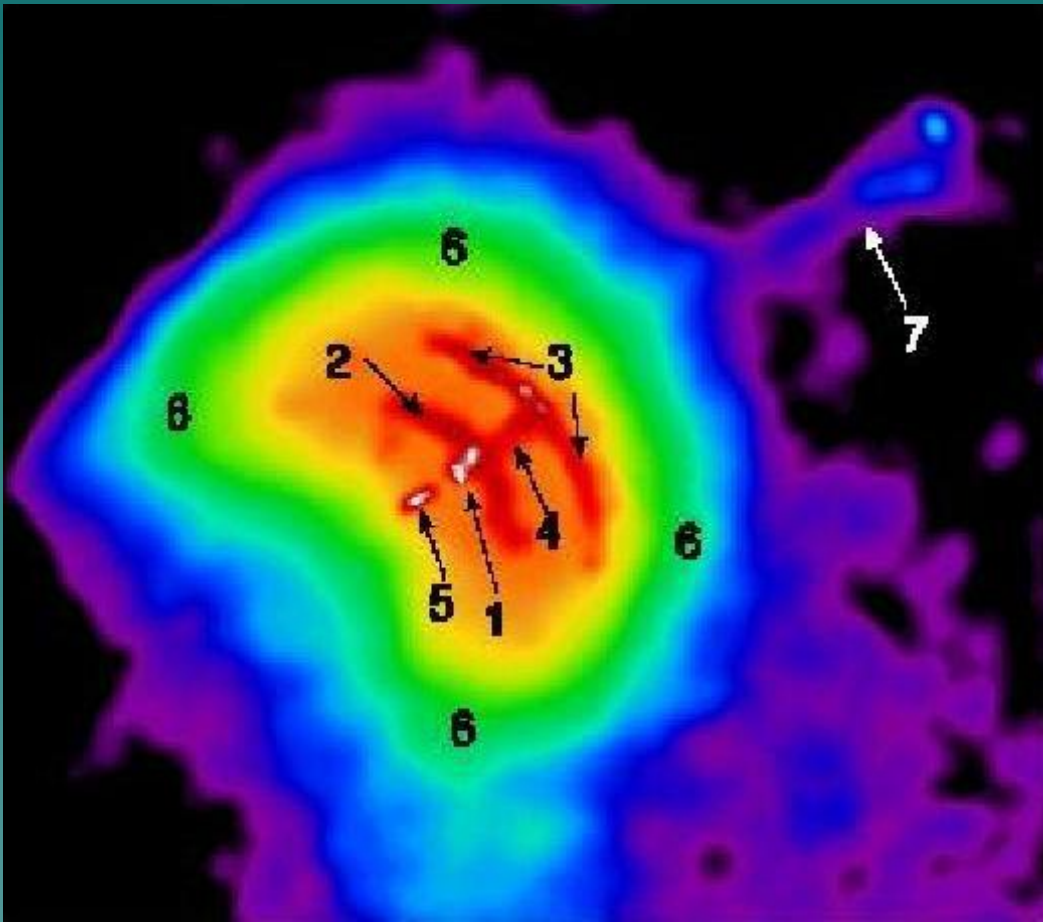
Jocelyn Bell



Пульсар в Крабовидной туманности



Пульсар Vela



7 – джет

Джеты (струи) наблюдаются у нескольких нейтронных звезд.

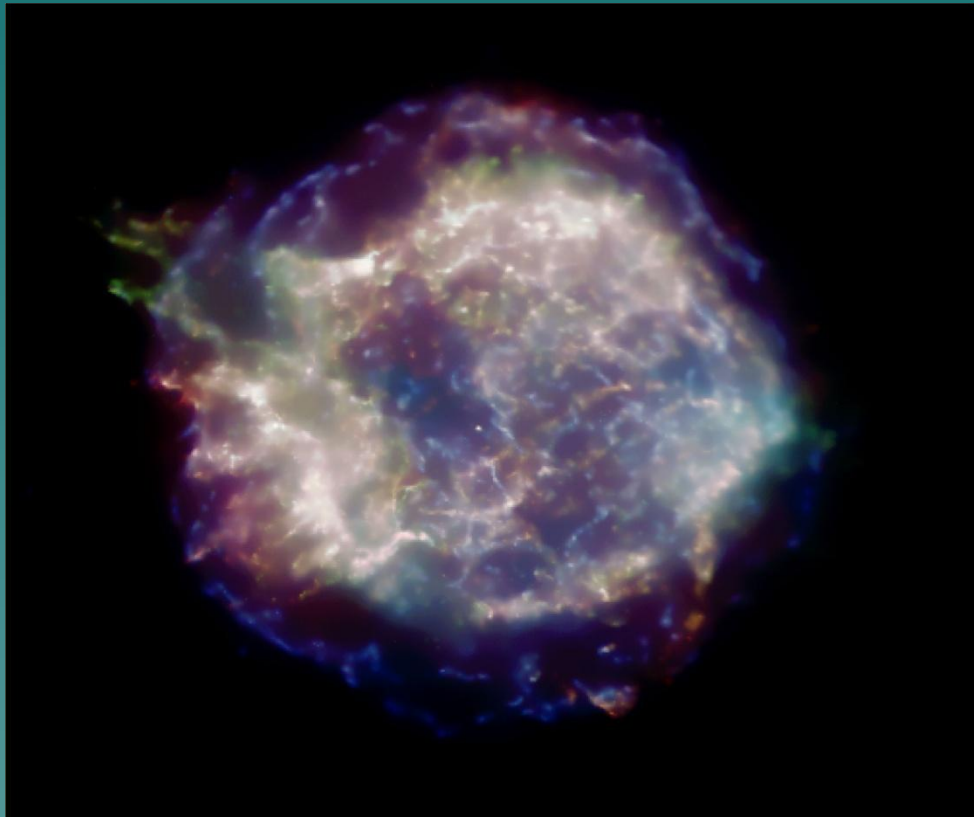
Новый зоопарк нейтронных звезд

В последние 10 лет стало ясно, что нейтронные звезды могут рождаться очень разными, совсем непохожими на обычные радиопульсары типа Краба.

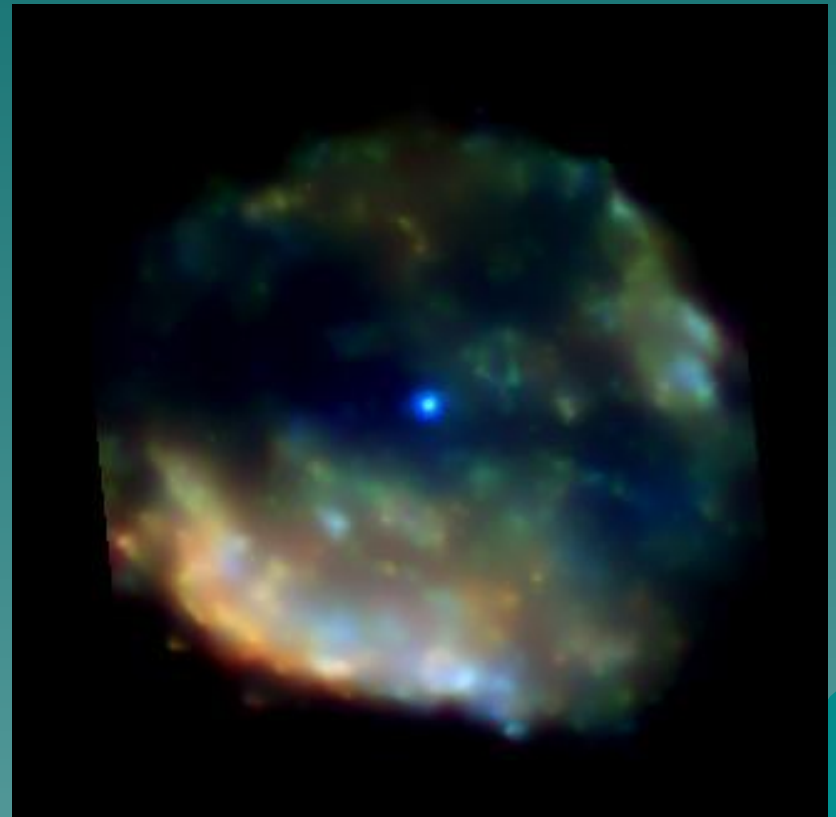
- о Компактные рентгеновские источники в остатках сверхновых
- о Аномальные рентгенов. пульсары
- о Источники мягких повторяющихся гамма-всплесков
- о Великолепная семерка
- о Источники EGRET
- о Транзиентные радиоисточники.....



Компактные рентгеновские источники в остатках сверхновых

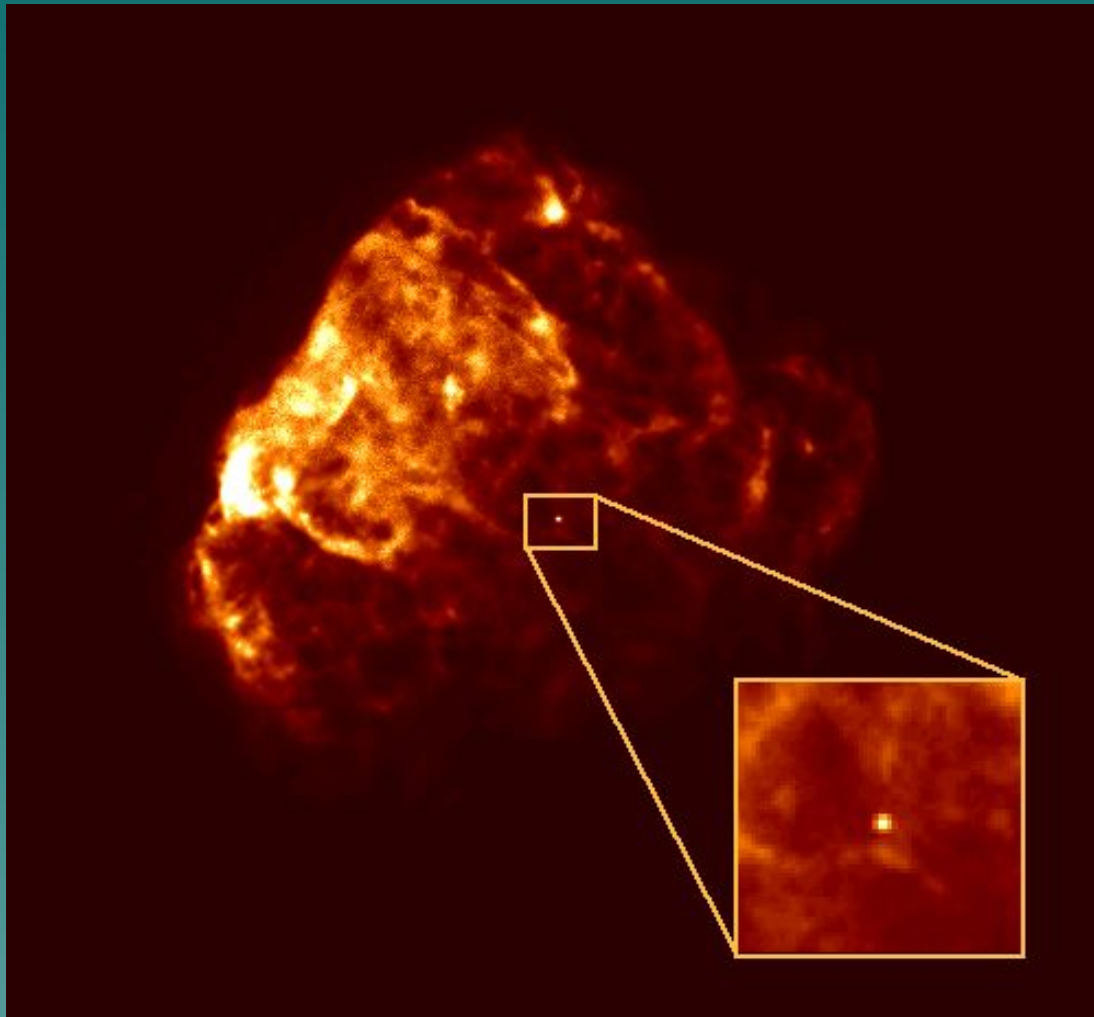


Cas A



RCW 103

Puppis A



Один из самых известных компактных рентгеновских источников в остатках сверхновых.

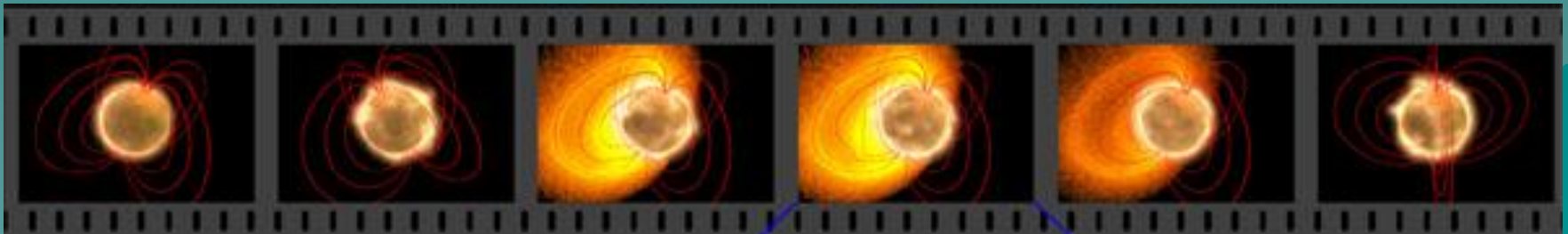
Возраст около 3700 лет.

Возможно, что прародителем была очень массивная звезда (около 30 масс Солнца).

Магнитары

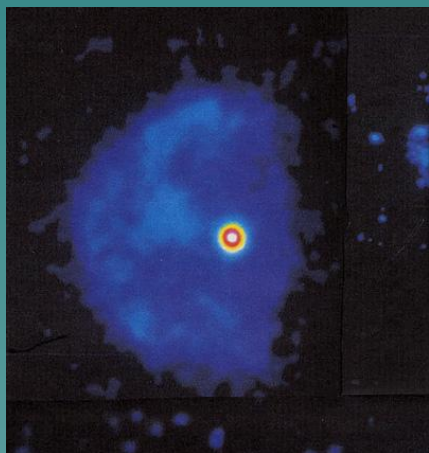
- ◆ $dE/dt > dE_{\text{rot}}/dt$
- ◆ По определению: расходуется энергия магнитного поля НЗ
- ◆ P-Pdot
- ◆ Прямые измерения магн. поля (Ibrahim et al.)

Магнитные поля 10^{14} – 10^{15} Гс



Известные магнитары

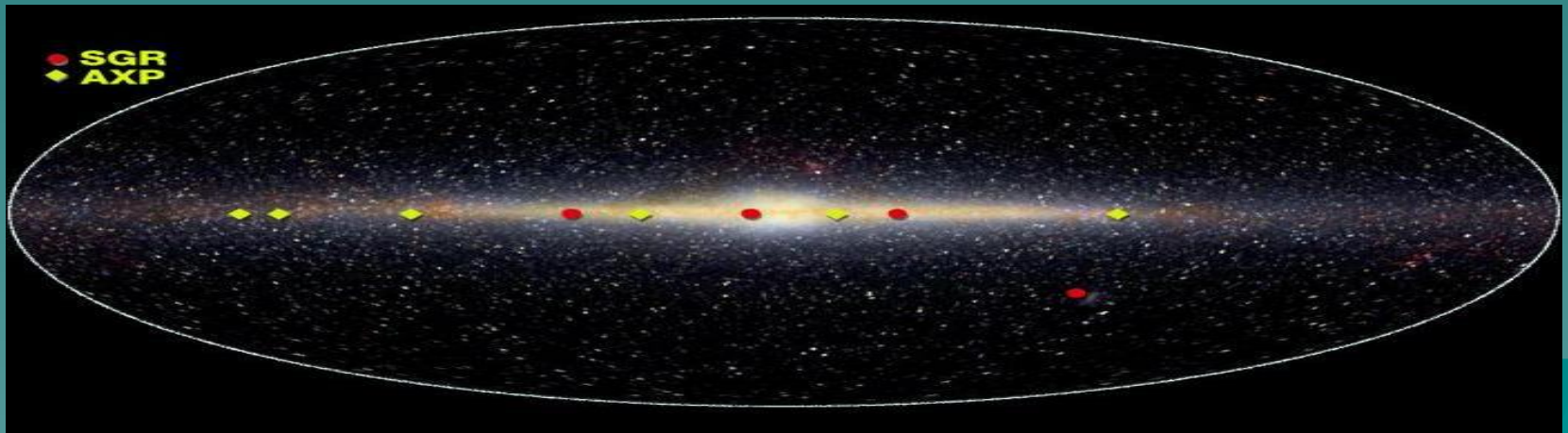
- ◆ SGRs (МППГ)
- ◆ 0526-66
- ◆ 1627-41
- ◆ 1806-20
- ◆ 1900+14
- ◆ +кандидаты
- ◆ AXPс (АРП)
- ◆ CXO 010043.1-72
- ◆ 4U 0142+61
- ◆ 1E 1048.1-5937
- ◆ 1 RXS J170849-40
- ◆ XTE J1810-197
- ◆ 1E 1841-045
- ◆ AX J1844-0258
- ◆ 1E 2259+586



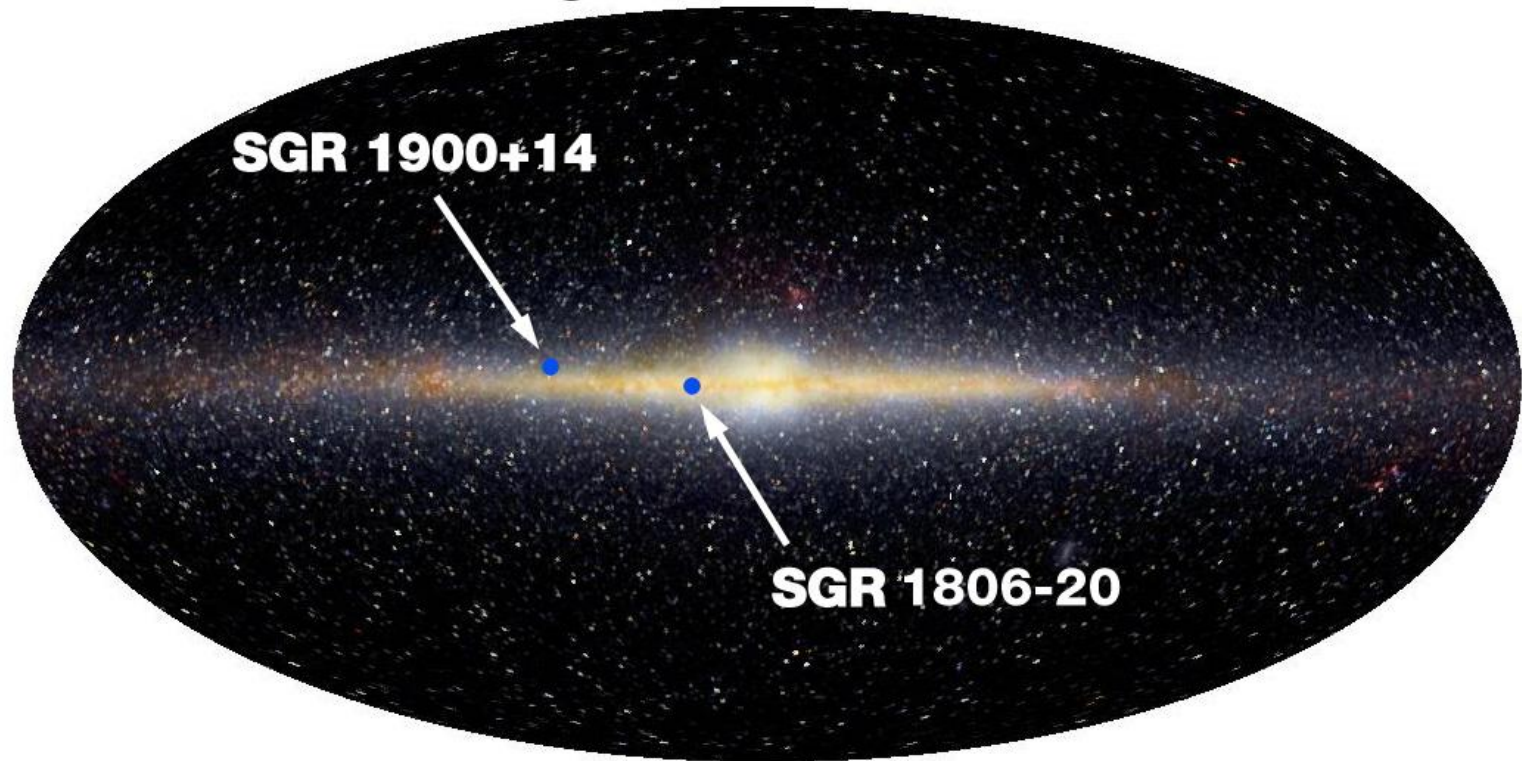
(СТВ 109)

Магнитары в галактике

- ◆ 4 МПГ, 8 АРП, плюс кандидаты, плюс радиопульсары с большими магнитн. полями ...
- ◆ Молодые объекты (около 10^4 лет).
- ◆ Возможно около 10% всех НЗ.



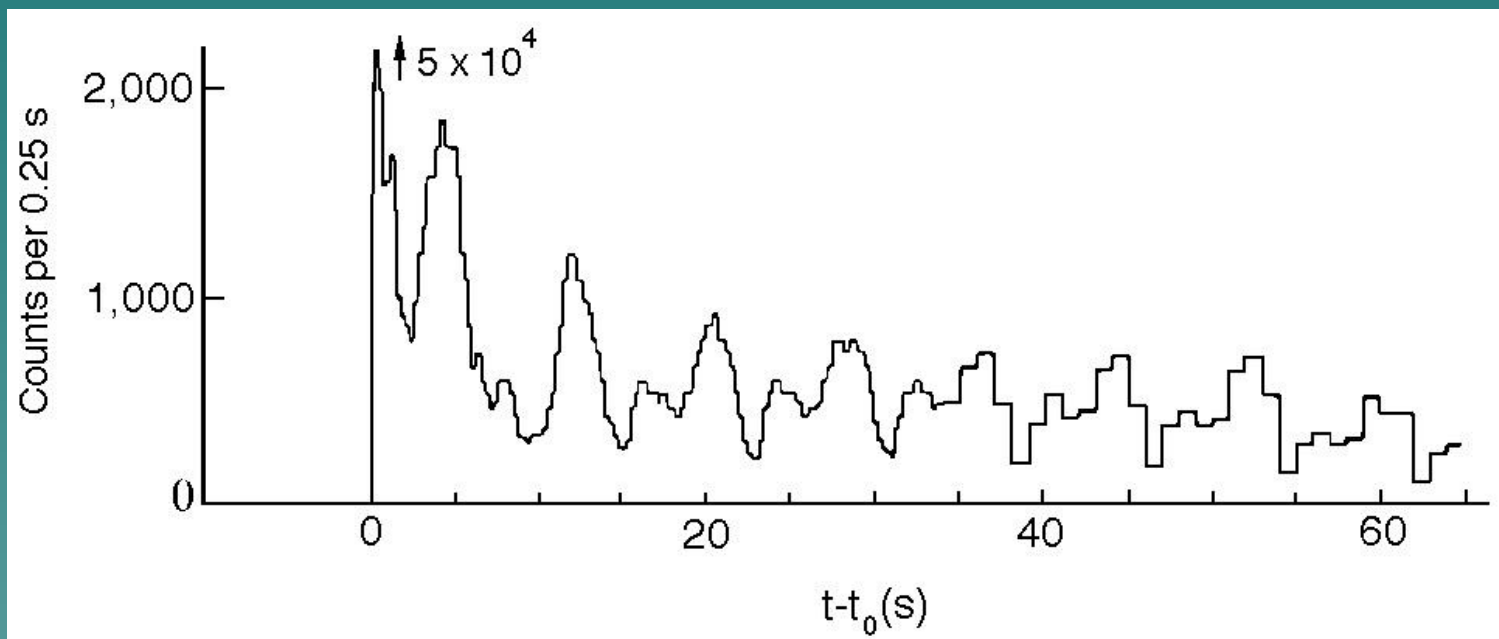
Magnetar candidates



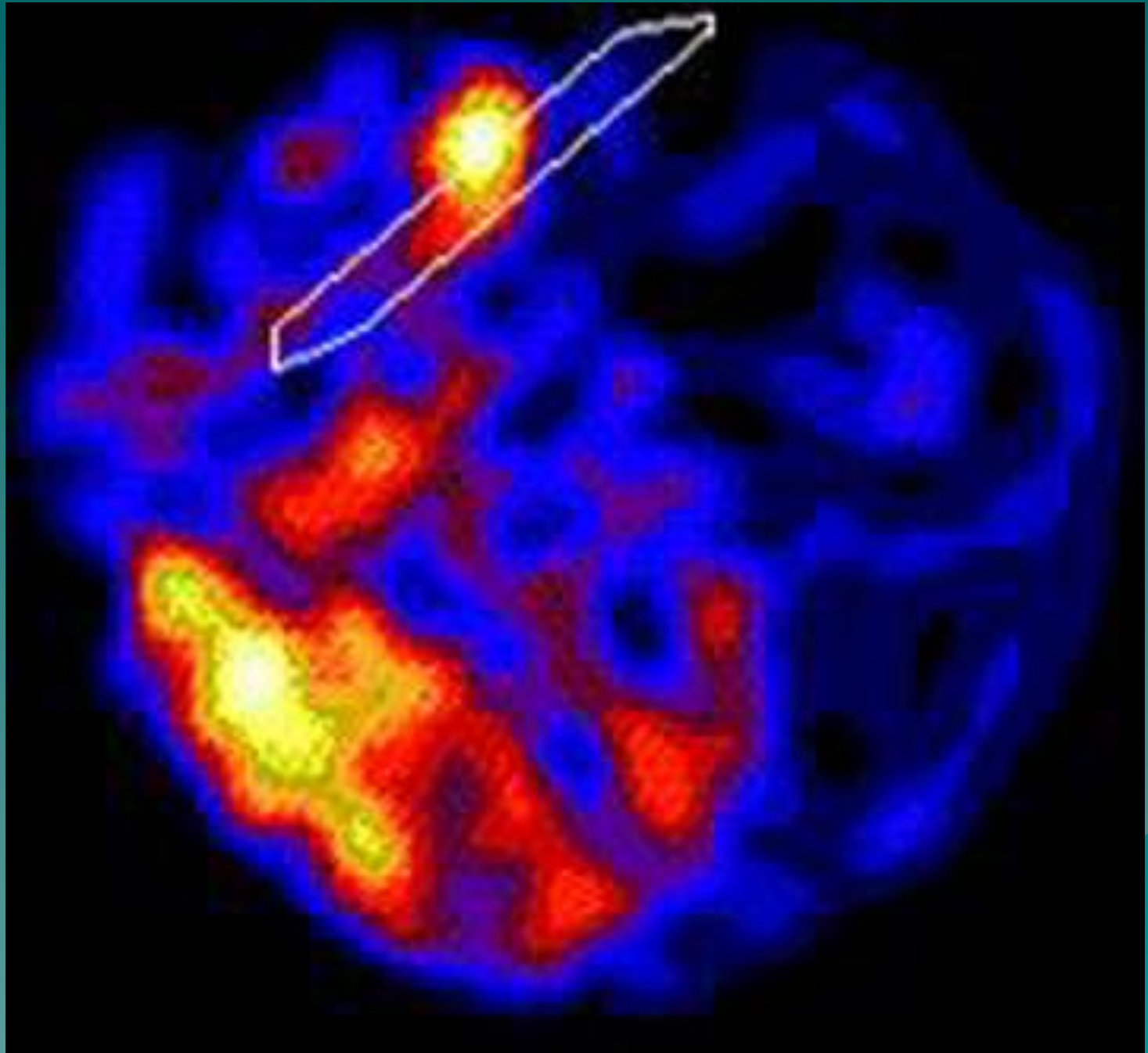
Milky Way image from Diffuse Infrared Background Experiment aboard Cosmic Background Explorer

Исторические заметки

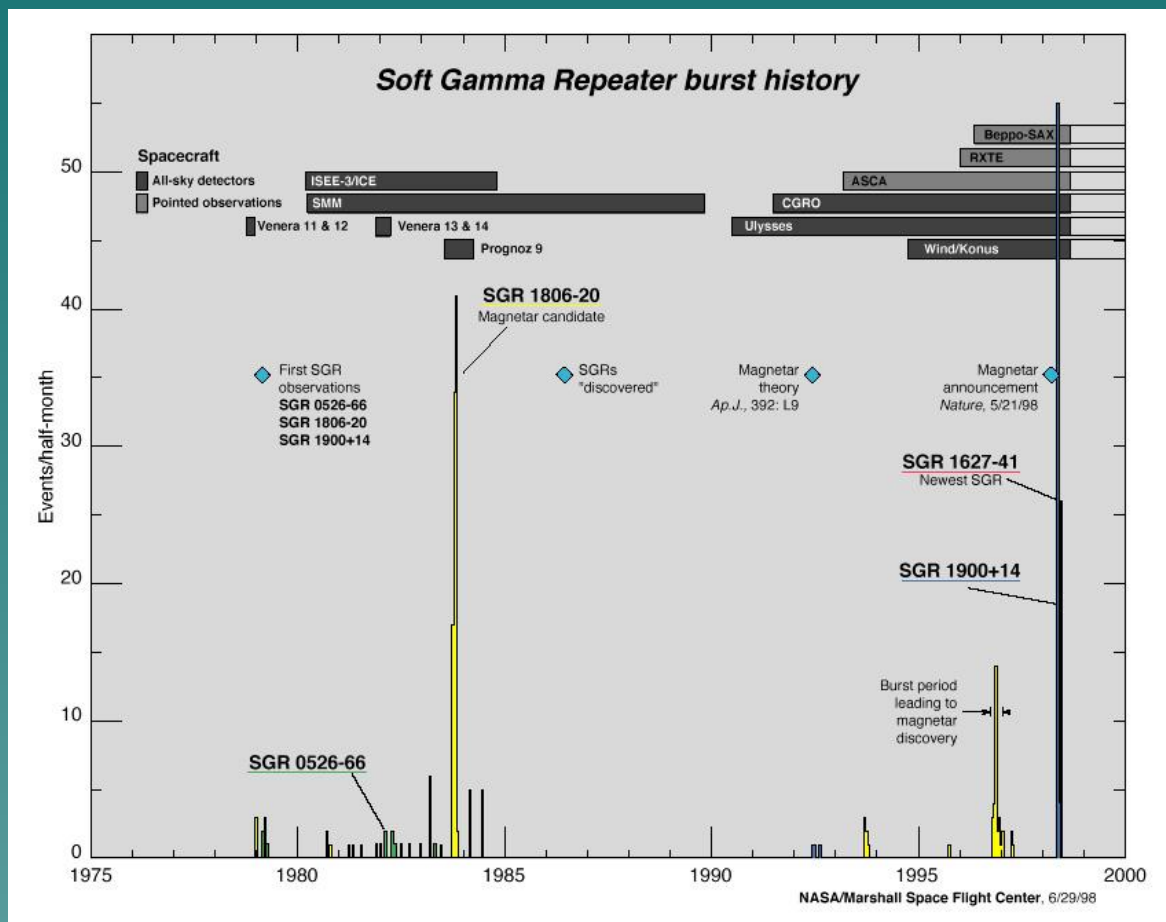
- ◆ 05 Марта 1979. Эксперимент Конус. Венера-11,12 (Мазец и др.)
- ◆ Событие в БМО. SGR 0520-66.
- ◆ Флюэнс: около 10^{-3} эрг/см²



№49 - Остаток
сверхновой
в Большом
Магеллановом
облаке

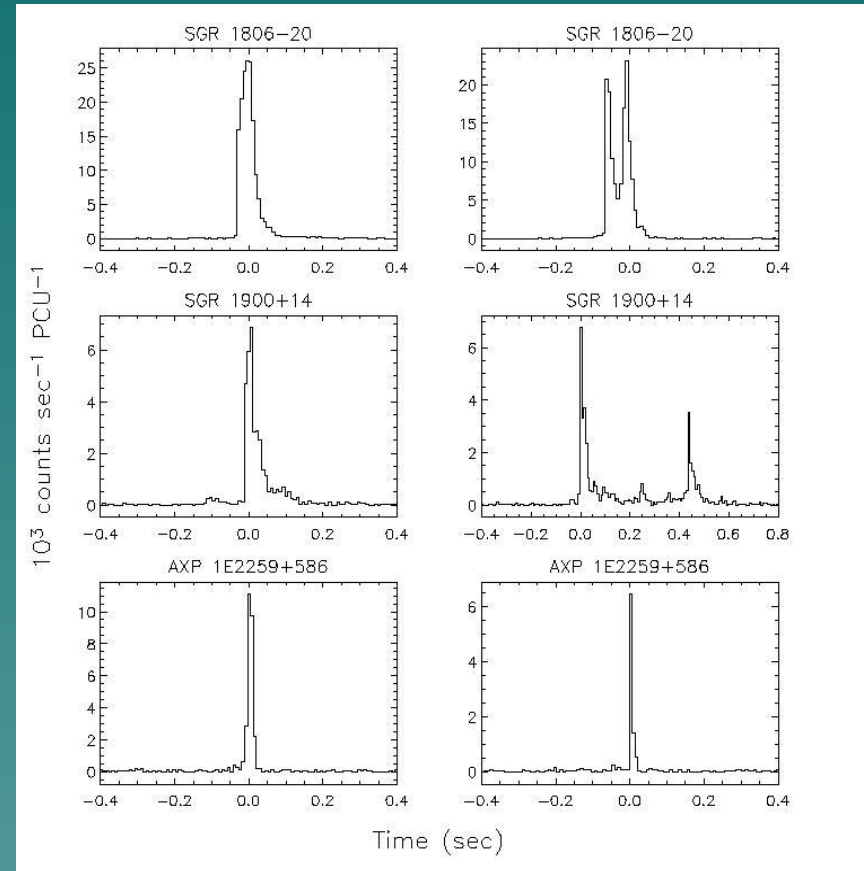


Активность МПГ и исследования этих источников



Обычные (слабые) всплески МПГ и АРП

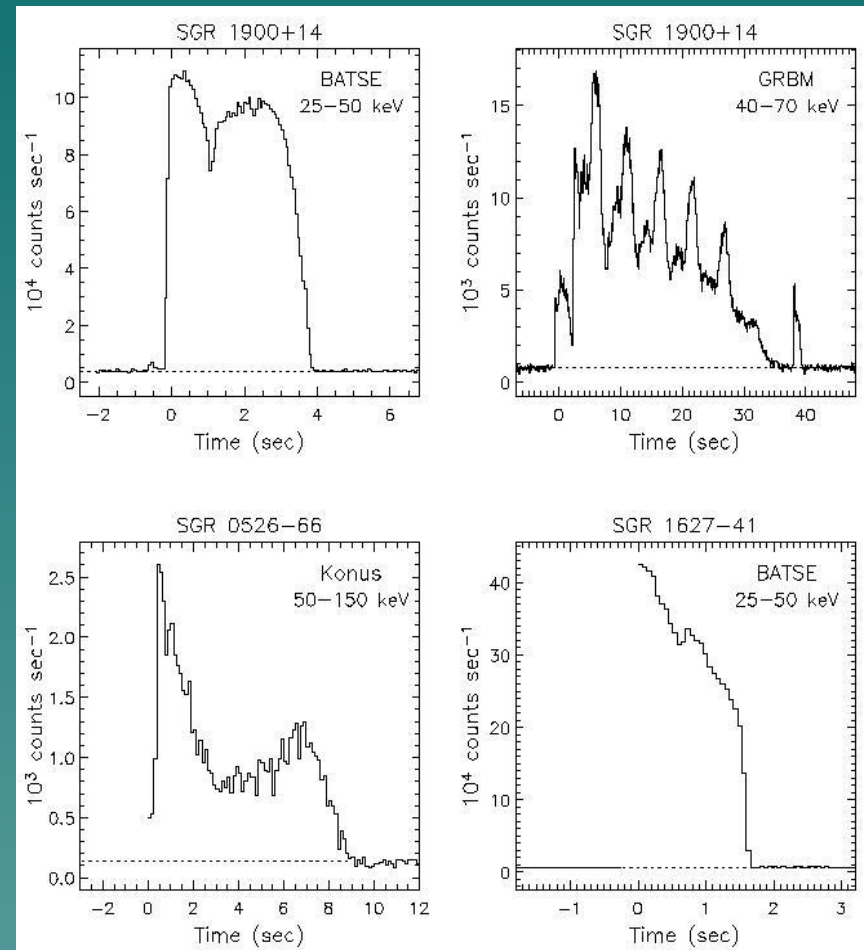
- ◆ Типичные всплески от SGR 1806-29, SGR 1900+14 и от АХР 1E 2259+586 по данным RXTE (из статьи Woods, Thompson, 2004, astro-ph/0406133)



(из статьи Woods, Thompson 2004)

Промежуточные всплески МПГ

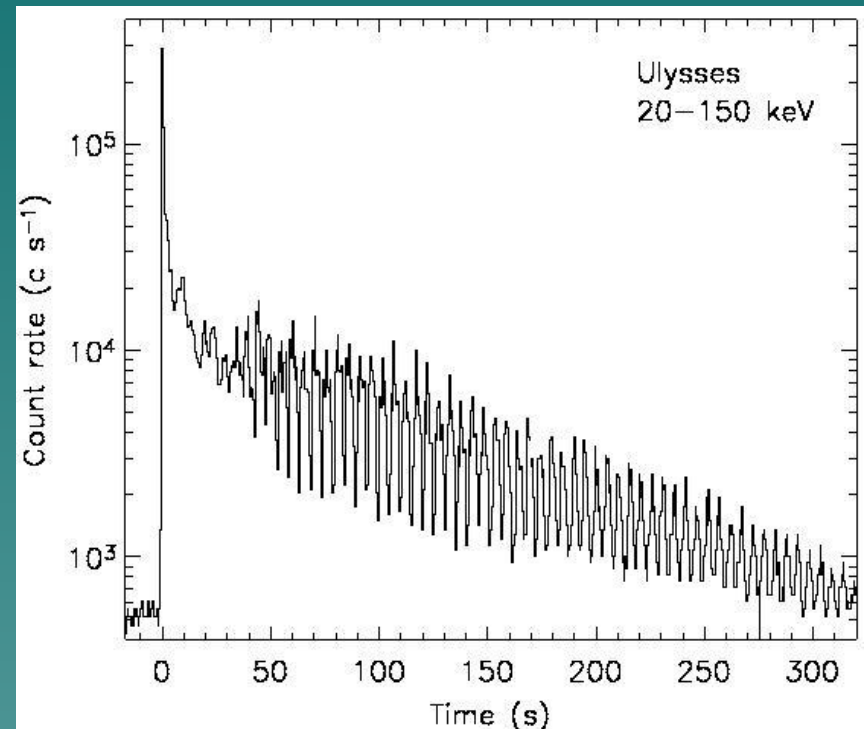
- ◆ Примеры четырех промежуточных всплесков. Однако иногда четвертый (правый нижний) некоторые считают гигантским (из статьи Woods, Thompson)



(из статьи Woods, Thompson 2004)

Гигантская вспышка SGR 1900+14 (27 Августа 1998)

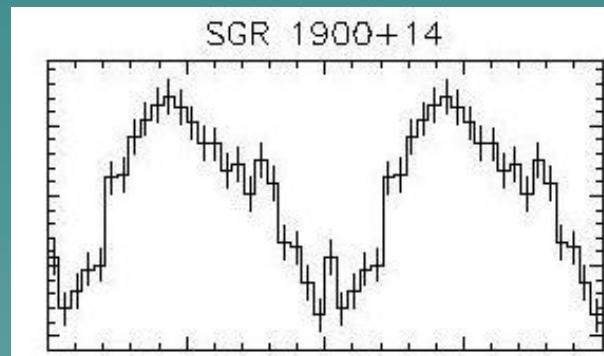
- ◆ Данные со спутника Улисс (рис. из Hurley et al. 1999a)
- ◆ Импульс 0.35 сек
- ◆ $P=5.16$ сек
- ◆ $L > 3 \cdot 10^{44}$ эрг/с
- ◆ $E_{\text{TOTAL}} > 10^{44}$ эрг



МПГ: периоды и гигантские ВСПЫШКИ

	Р, сек	Вспышки
◆ 0526-66	8.0	5 Март 1979
◆ 1627-41	6.4	18 Июнь 1998 (?)
◆ 1806-20	7.5	24 Дек 2004
◆ 1900+14	5.2	27 Авг 1998

+ кандидаты

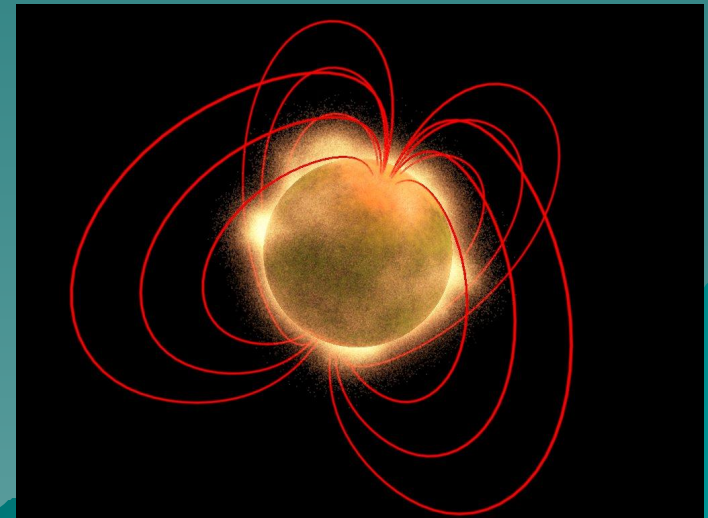
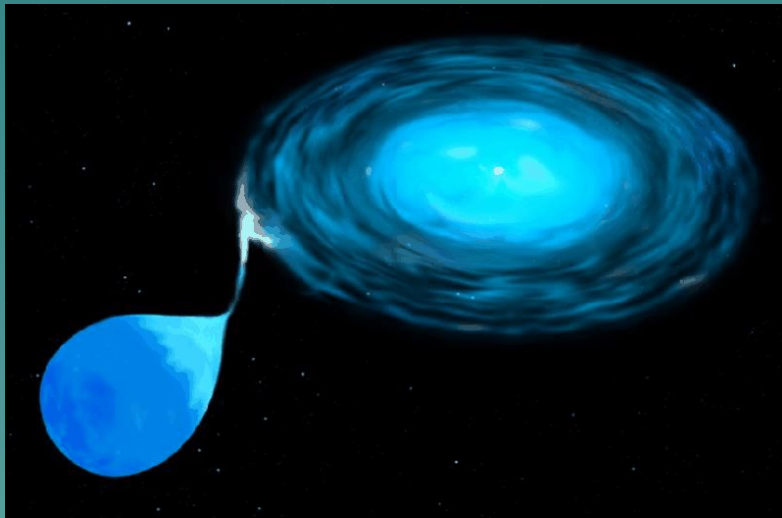


См. обзор в
Woods, Thompson
[astro-ph/0406133](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0406133)

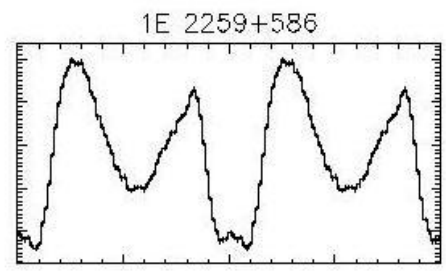
Аномальные рентгеновские пульсары

Выделены в отдельную группу в 1995 г.
(Mereghetti, Stella 1995 Van Paradijs et al.1995)

- Близкие периоды (5-10 секунд)
- Постоянное замедление
- Отсутствие оптических компаньонов
- Относительно слабая светимость
- Постоянная светимость



Известные АРП

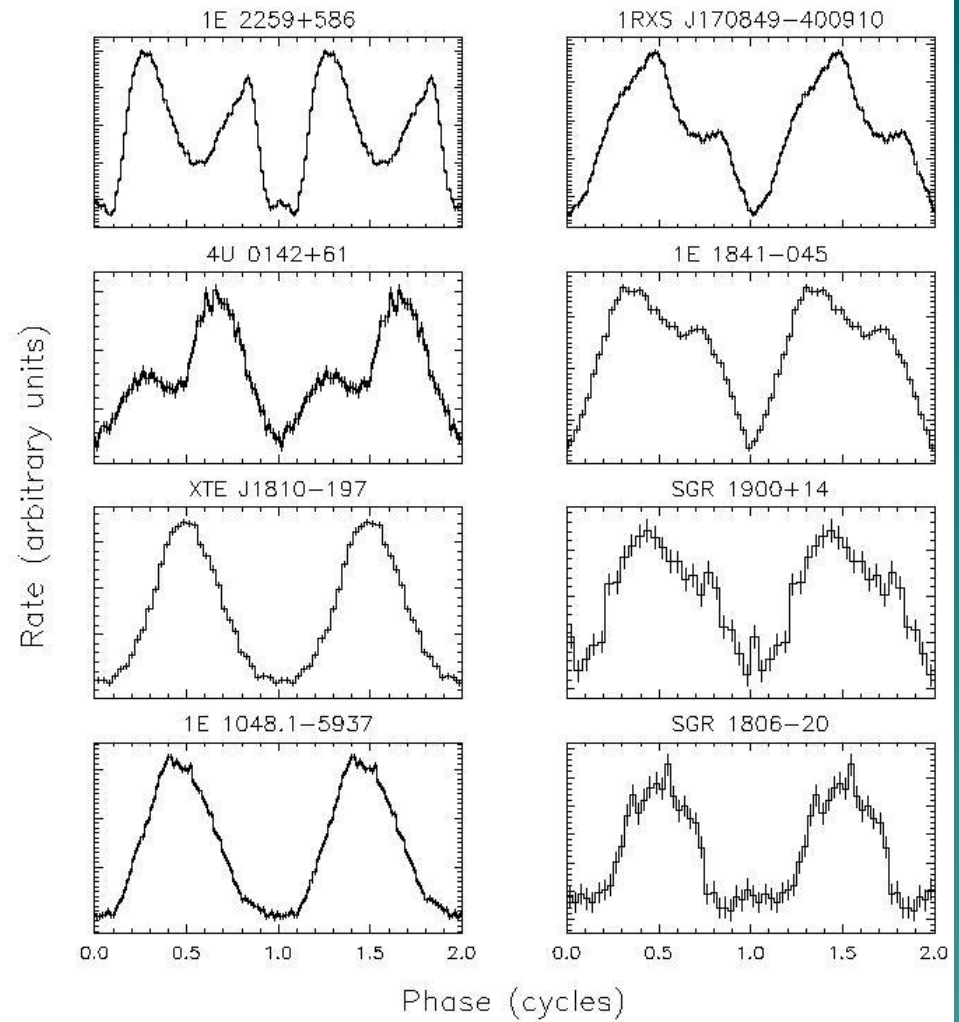
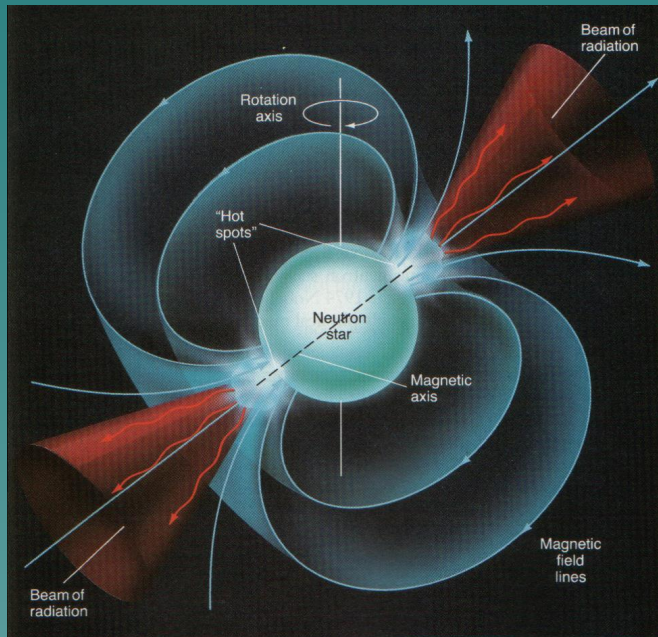


Источник

Период, сек

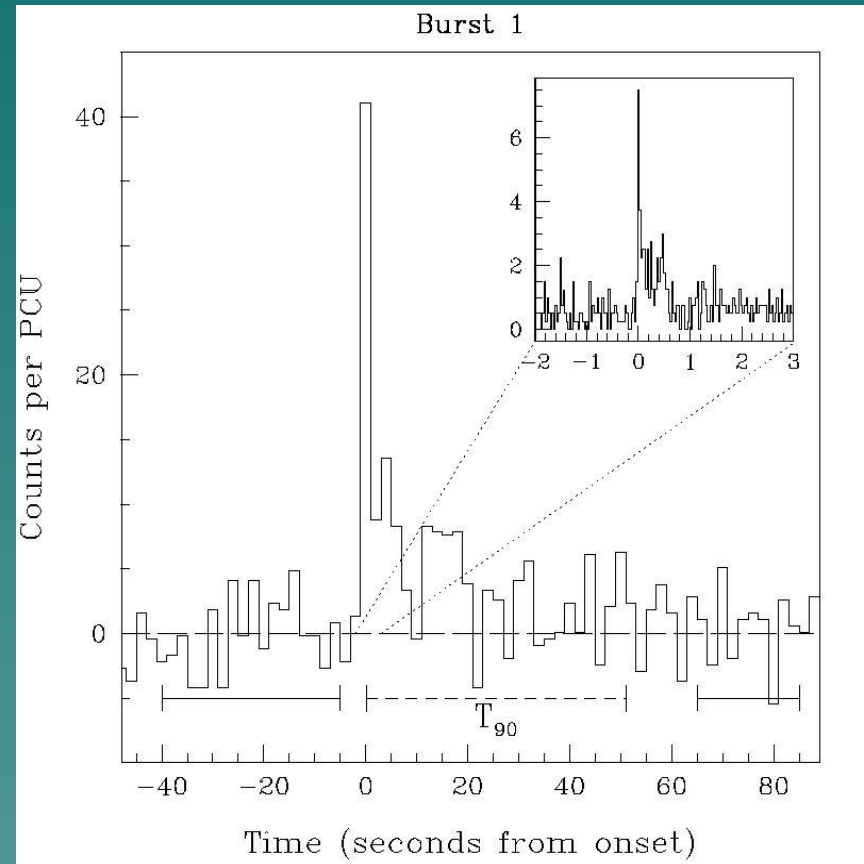
СХО 010043.1-72	8.0
4U 0142+61	8.7
1E 1048.1-5937	6.4
1RXS J170749-40	11.0
XTE J1841-197	5.5
1E 1841-045	11.8
AX J1844-0258	7.0
1E 2259+586	7.0

Показаны профили импульсов нескольких АРП и МПГ



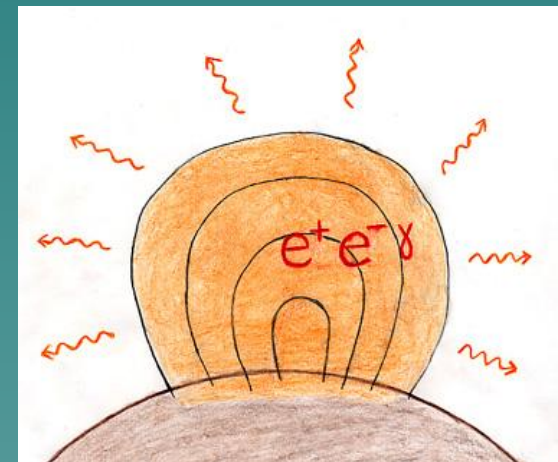
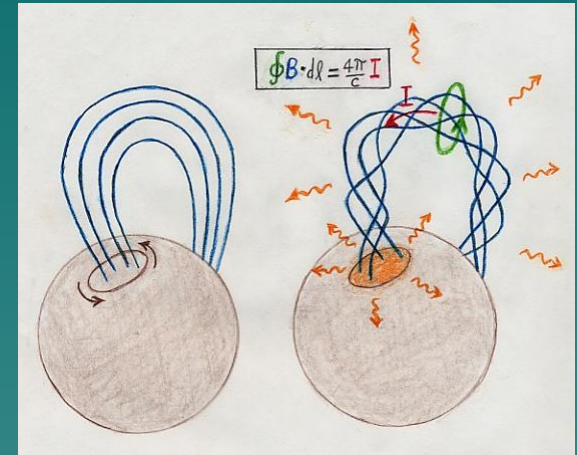
МПГ и АРП – близнецы-братья?

- ◆ Вспышки от АРП
- ◆ Спектральные свойства
- ◆ Неактивные периоды у МПГ (0525-66 с 1983)



Теория магнитаров

- ◆ Thompson, Duncan
ApJ 408, 194 (1993)
- ◆ Конвекция в молодой
НЗ приводит к
генерации сильного
магнитного поля
- ◆ Перестройка структуры
магнитного поля



(Рисунки с веб-страницы Дункана)

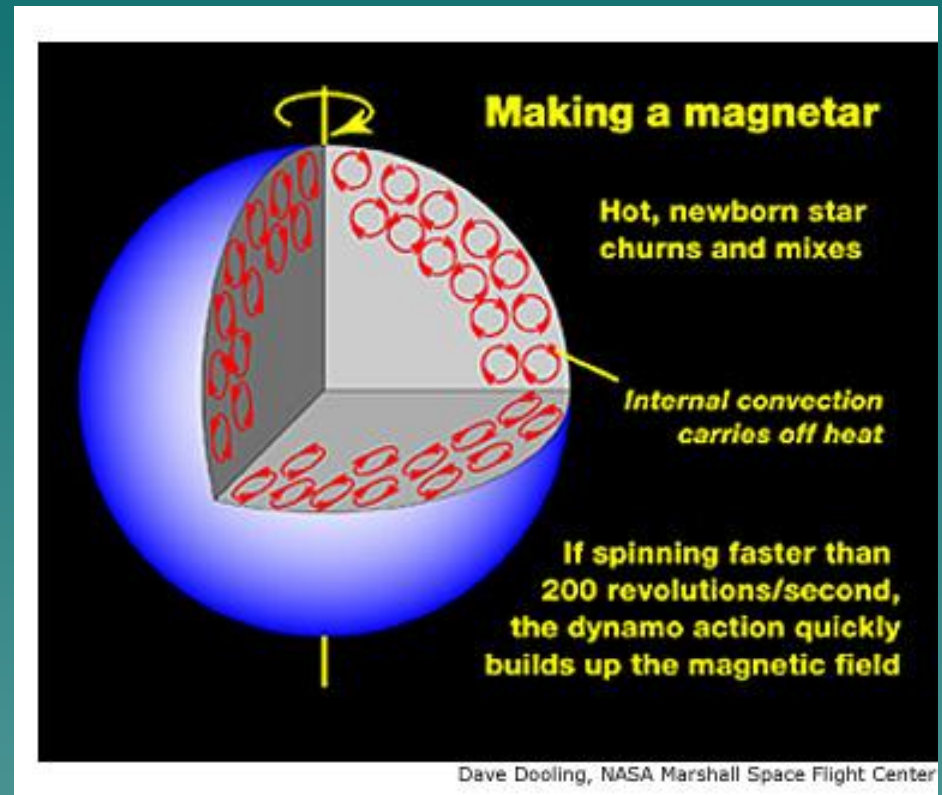
Генерация магнитного поля

Механизм генерации магнитных полей нейтронных звезд остается неизвестным.

Турбулентное динамо

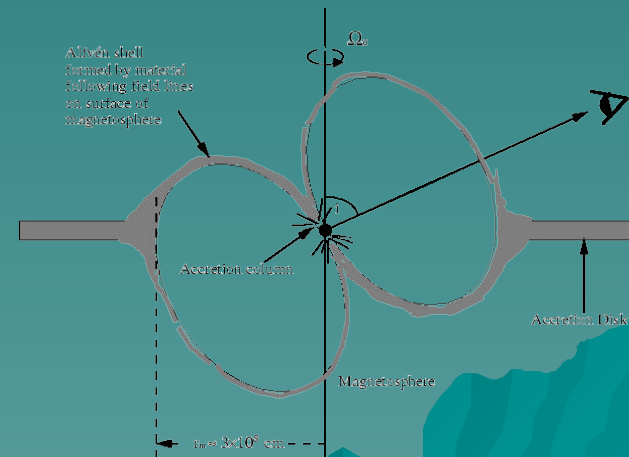
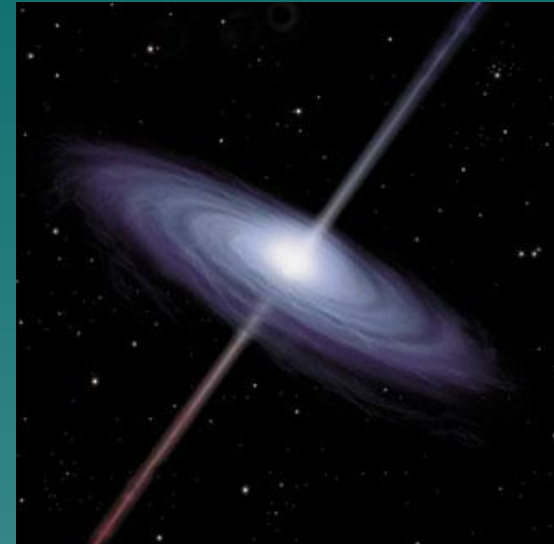
α - Ω динамо (Duncan, Thompson)
 α^2 динамо (Bonanno et al.)
или их комбинация

В любом случае критическим параметром является начальный темп вращения нейтрон. звезды.



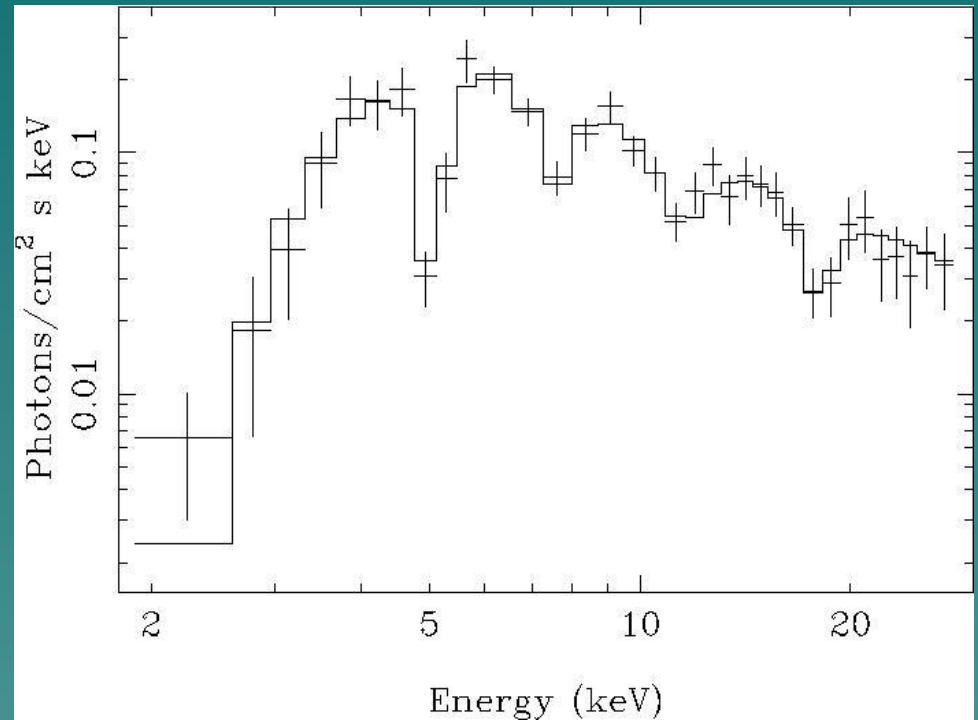
Альтернативная теория

- ◆ Остаточный диск
- ◆ Mereghetti, Stella 1995
- ◆ Van Paradijs et al. 1995
- ◆ Alpar 2001
- ◆ Marsden et al. 2001
- ◆ Проблемы
- ◆ Как сгенерировать сильные всплески?



Измерения магнитного поля

- ◆ Прямые измерения магнитного поля МПГ
- ◆ Замедление вращения
- ◆ Длинные периоды вращения

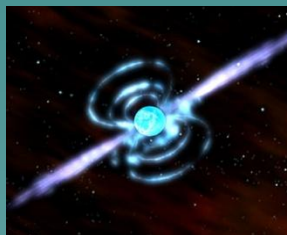


Ibrahim et al. 2002

Основные типы активности МПГ

- ◆ Слабые всплески. $L < 10^{41}$ эрг/с
- ◆ Промежуточные. $L = 10^{41} - 10^{43}$ эрг/с
- ◆ Гигантские. $L < 10^{45}$ эрг/с
- ◆ Гипервспышки. $L > 10^{46}$ эрг/с

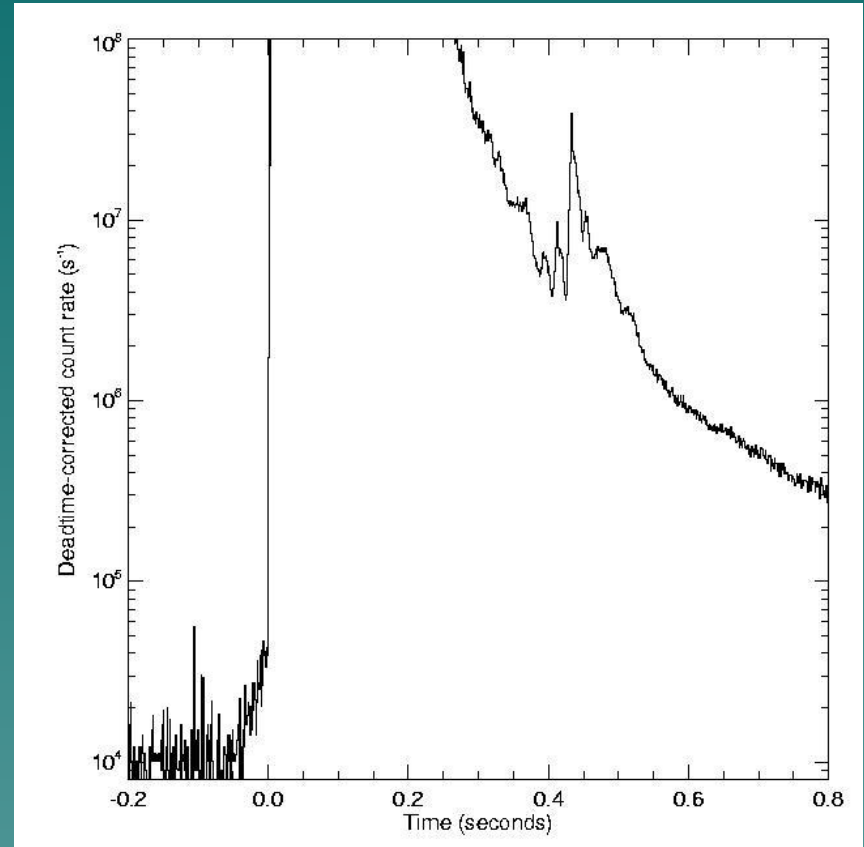
*Распределение по мощности
подобно распределению
землетрясений по магнитуде*



Обзор в статье
Woods, Thompson
[astro-ph/0406133](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0406133)

Гигантская вспышка источника МПГ

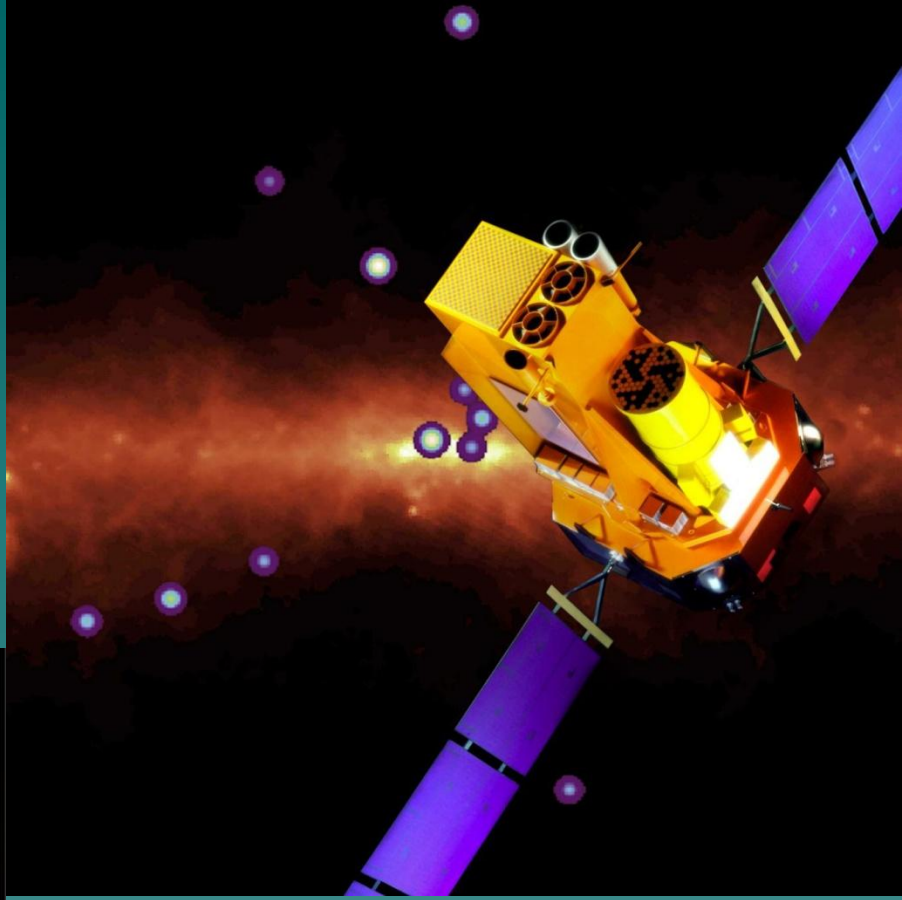
- ◆ 27 декабря 2004 гигантская вспышка SGR 1806-20 была зарегистрирована множеством спутников: Swift, RHESSI, Konus-Wind, Coronas-F, Integral, HEND, ...
- ◆ В 100 раз ярче, чем все предыдущие!



Palmer et al.
astro-ph/0503030



C
O
R
O
N
A
S
-
F



Integral

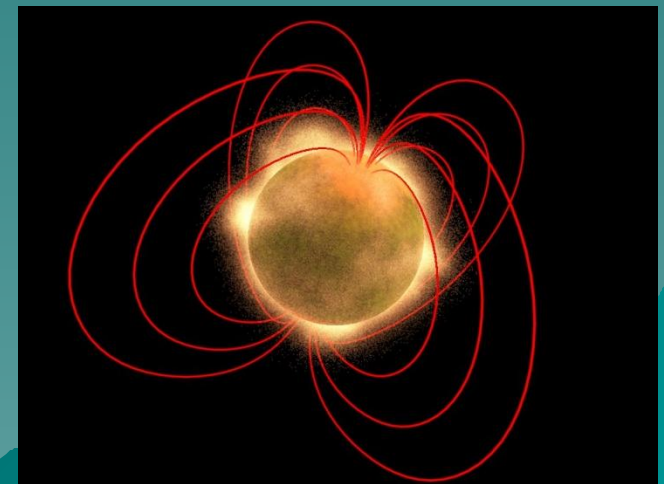
RHESSI



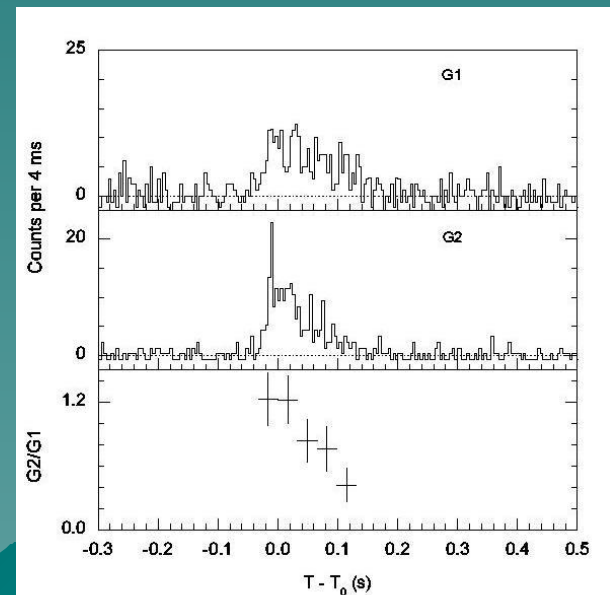
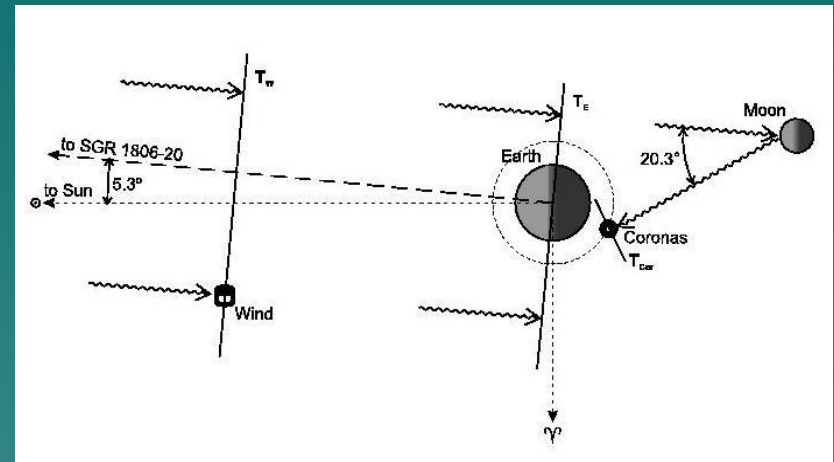
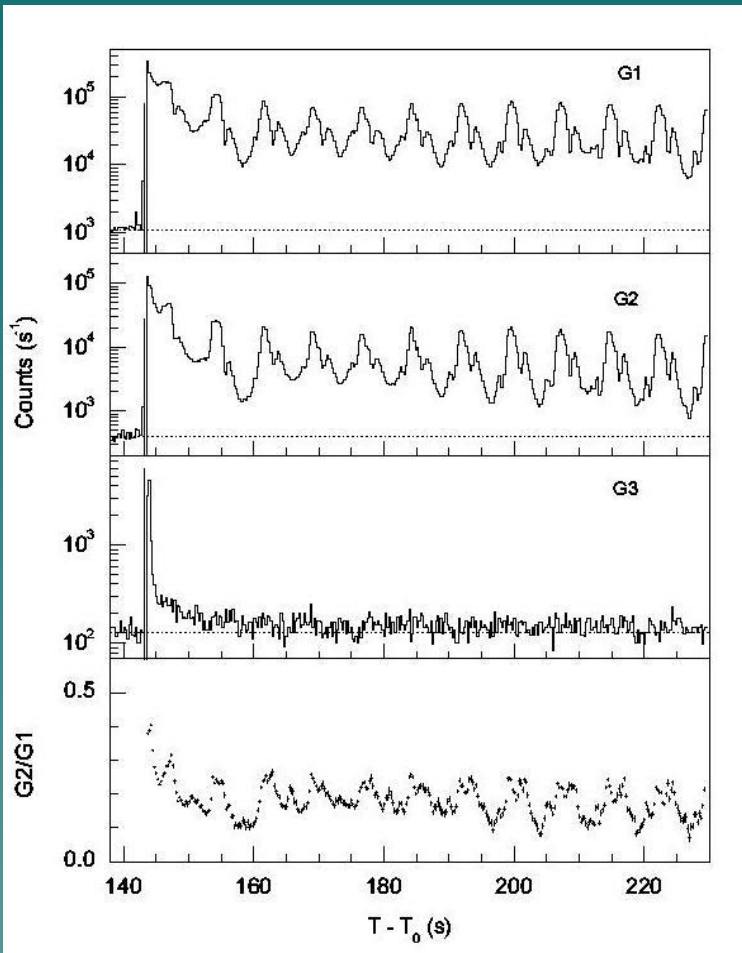
27 Дек 2004

Гигантская вспышка SGR 1806-20

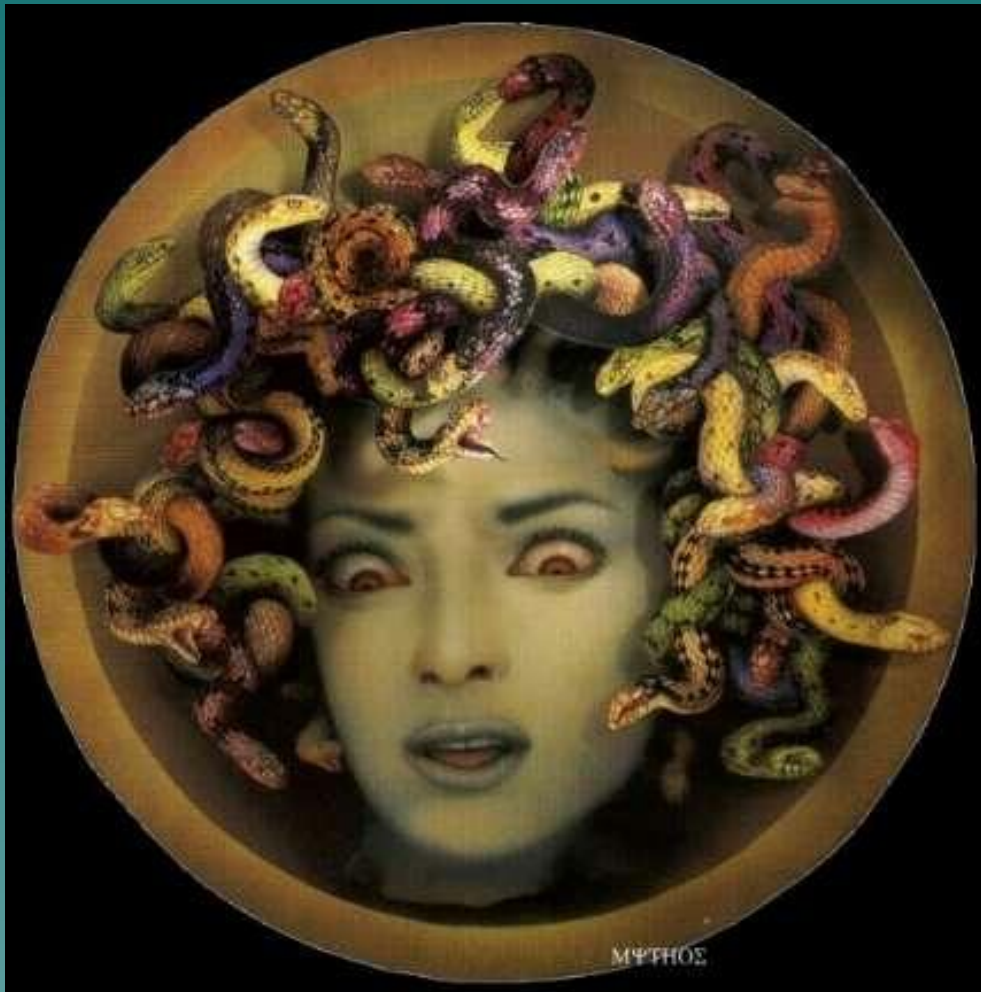
- ◆ Импульс 0.2 сек
- ◆ Флюэнс 1 эрг/см²
- ◆ $E(\text{имп}) = 3.5 \cdot 10^{46}$ эрг
- ◆ $L(\text{имп}) = 1.8 \cdot 10^{47}$ эрг/с
- ◆ Длинный «хвост» (400 с)
- ◆ $P = 7.65$ с
- ◆ $E(\text{хвост}) = 1.6 \cdot 10^{44}$ эрг
- ◆ Расстояние 15 кпк



Данные Konus-Wind SGR 1806-20 27 Дек 2004



Миф о Медузе



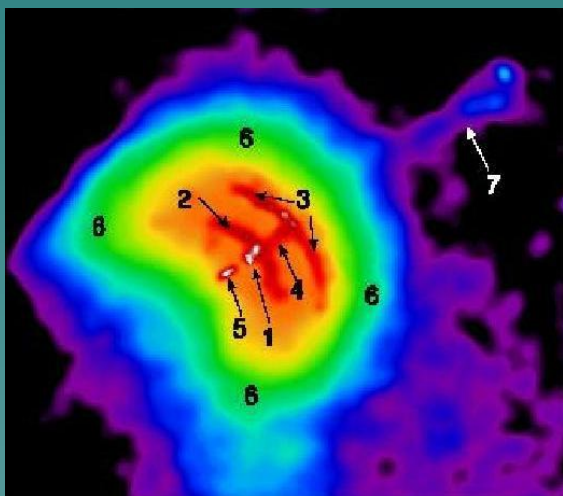
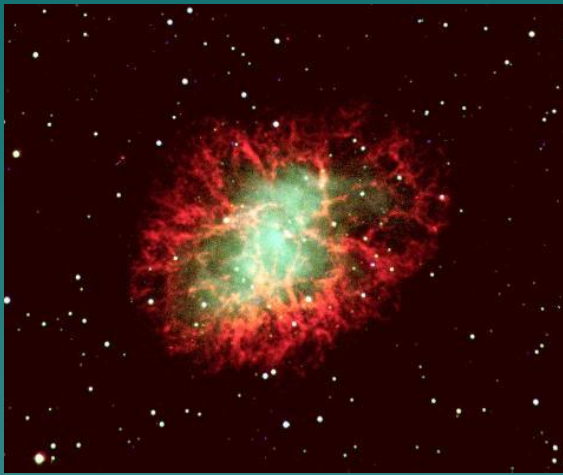
Связь с массивными звездами

Есть основания полагать, что магнитары (АРП и МПГ) связаны с массивными звездами.



Westerlund 1

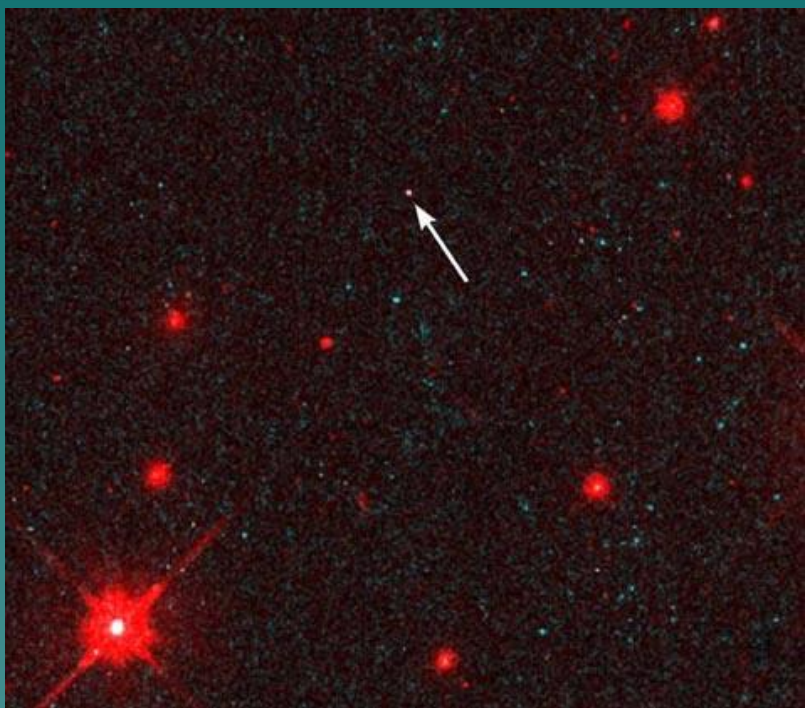
Популяция одиночных нейтронных звезд: в Галактике и по соседству



- ОНЗ могут проявляться как источники разных типов
 - Радиопульсары
 - Аномальные рент. пульсары
 - Источники МПГ
 - Центр. Источники в ОС
 - Радиотихие нейтр. звезды

- Местная популяция молодых одиночных нейтронных звезд
 - Радиопульсары
 - Геминга+
 - Радиотихие НЗ

Близкие радиотихие НЗ



RX J1856.5-3754

- ◆ Открытие:
Walter et al.
(1996)
- ◆ Собственное
движение и расст:
Kaplan et al.
- ◆ Нет пульсаций
- ◆ Тепловой спектр
- ◆ Позже:
шесть братьев

Родственники магнитаров?

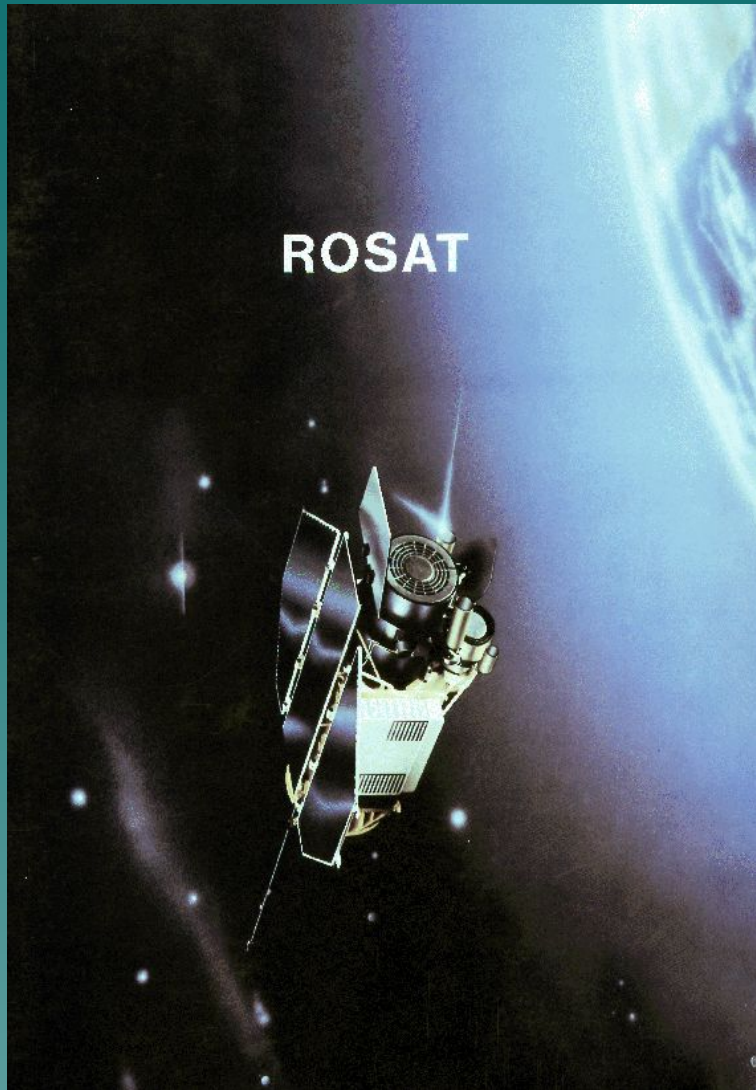
Источник	Период,сек
RX 1856	-
RX 0720	8.39
RBS 1223	10.31
RBS 1556	-
RX 0806	11.37
RX 0420	3.45
RBS 1774	9.44

Великолепная семерка



Радиотихие
Близкие
Молодые
Тепловое излучение
Длинные периоды

ROSAT



ROentgen SATellite

Немецкий спутник
(при участии США и Великобритании).

Запущен 01 июня 1990г.
Программа была успешно
завершена 12 февраля 1999 г.

Движение RX J1856-3754

Про этот объект мы теперь знаем уже много, однако он не слишком похож на шесть других.



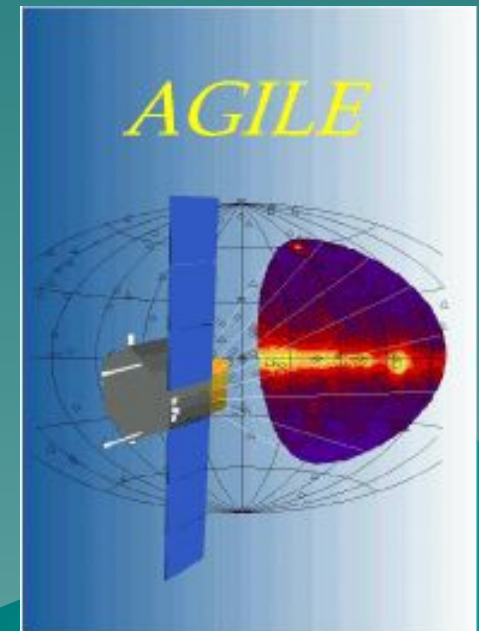
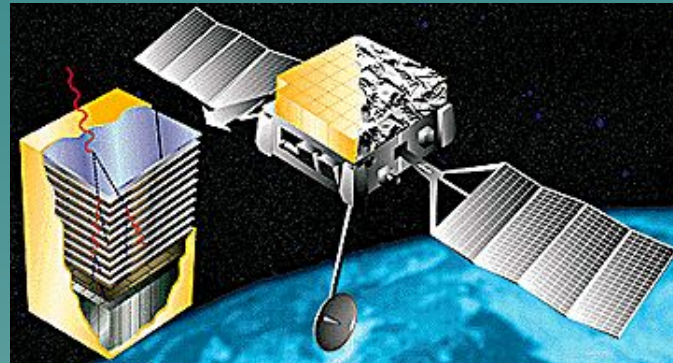
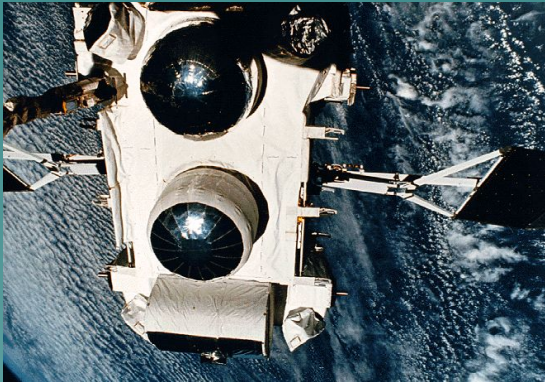
Неотождествленные источники EGRET

Grenier (2000), Gehrels et al. (2000)

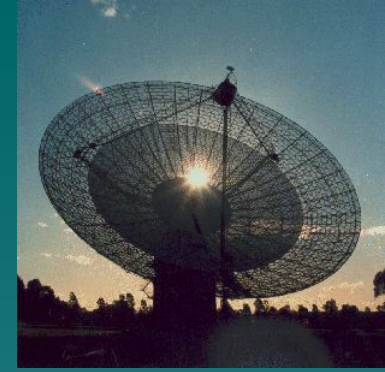
Неотождествленные источники формируют несколько групп. Одна из них показывает пространственное распределение, подобное объектам, входящим в Пояс Гулда.

Предполагается, что GLAST (а также, возможно, AGILE) смогут внести ясность в этот вопрос.

Тема активно изучается (например, работы Harding, Gontier)



Открытие быстрых радиотранзиентов

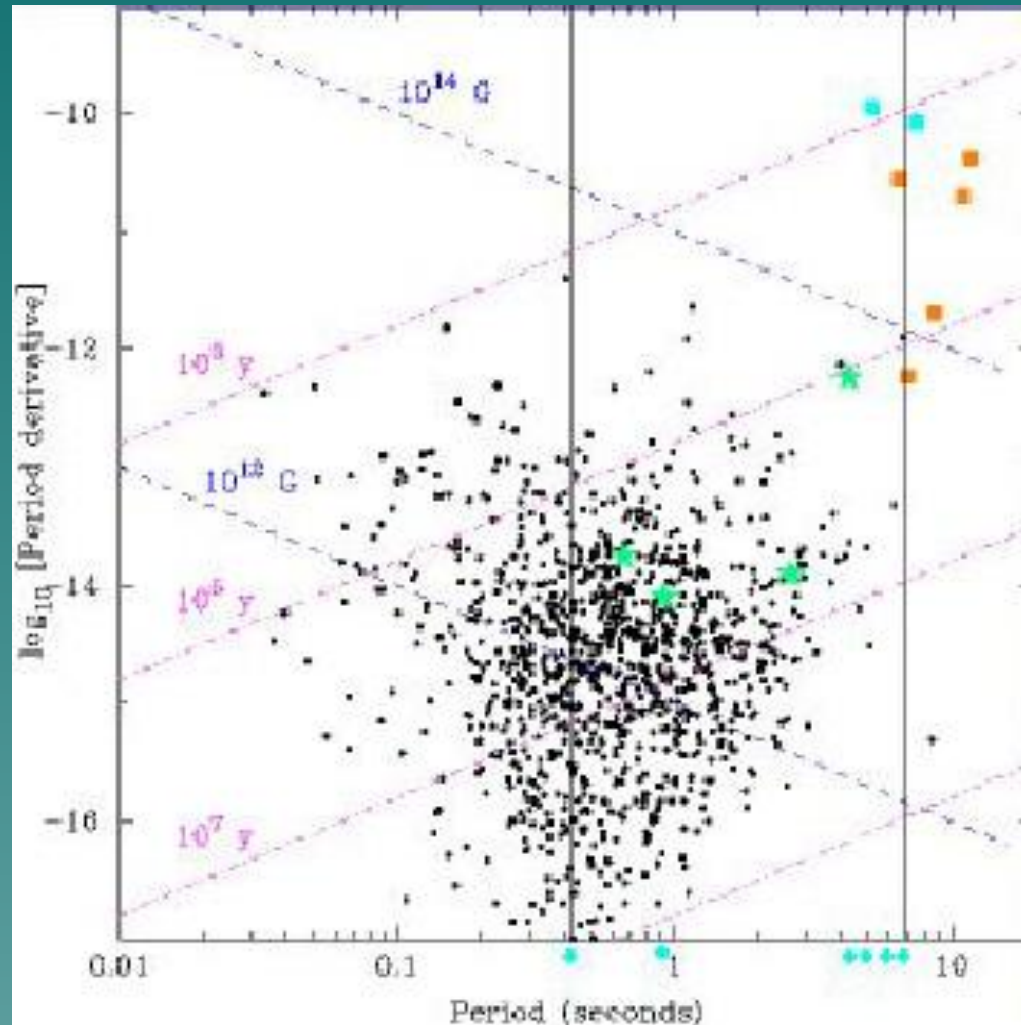


McLaughlin et al. открыли новый тип источников – RRATs (Rapid Radio Transients). Быстрые рентгеновские транзиенты. У нескольких источников обнаружены периоды порядка нескольких секунд. Источники были открыты в 2005 г. в ходе Парксовского (Parkes) обзора Галактической плоскости.

Эти источники могут быть родственниками Великолепной семерки.

Планируются радионаблюдения Великолепной семерки. В Пуццино уже было обнаружено радиоизлучение от одного из «братьев».

P-Pdot диаграмма для RRATs



McLaughlin et al. 2006
Nature

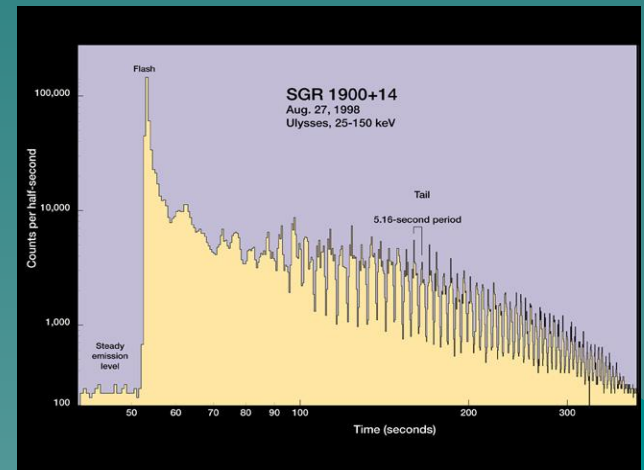
Оценки показывают,
что в Галактике
должно быть около
400 000

источников этого типа

Молодые или старые???

Заключение

- ◆ Несколько групп источников:
Центр. комп., В7,
МПГ, АРП ...
- ◆ Магнитары (?)
- ◆ Значительная доля всех
новорожденных НЗ
- ◆ Вопросы:
 1. Есть ли связь?
 2. Причины различий





Rockburne 98

Rockburne 98

Dorothea Rockburne

ВОТ И ВСЕ! СПАСИБО!

