

Астрофизика одиночных нейтронных звезд: радиотихие нейтронные звезды и магнитары

С.Б.Попов и М.Е.Прохоров

ГАИШ МГУ

2002

В этой работе дается обзор современного состояния теории и наблюдений одиночных нейтронных звезд. В основном рассматриваются объекты, не проявляющие обычной пульсарной активности в радиодиапазоне. Мы отнесли к этому классу слабые рентгеновские источники, являющиеся кандидатами в одиночные нейтронные звезды, в диске Галактики и в шаровых скоплениях; компактные рентгеновские источники в остатках сверхновых; аномальные рентгеновские пульсары; источники мягких повторяющихся гамма-всплесков; объекты типа Геминги. Также мы рассматриваем родственные объекты (одиночные черные дыры и т.н. "странные" звезды) и кратко описываем современное состояние астрофизики сверхновых и связанные с этим проблемы.

Нами описываются основные процессы, связанные с эволюцией одиночных нейтронных звезд: охлаждение, затухание магнитного поля, эволюция периодов вращения, магнитосферные процессы, аккреция. Рассматривается популяционный синтез одиночных нейтронных звезд разных типов, кратко описываются "единые теории", объясняющие некоторые из перечисленных выше типов источников как последовательную эволюцию одиночных

Оглавление

- [Оглавление](#)
- [1. Введение](#)
- [2. Актуальные проблемы астрофизики одиночных нейтронных звезд](#)
 - [2.1. Наблюдения НЗ](#)
 - [2.1.1. Наблюдения в рентгеновском и гамма диапазонах](#)
 - [2.1.2. Наблюдения в радио диапазоне](#)
 - [2.1.3. Наблюдения в ИК диапазоне](#)
 - [2.1.4. Наблюдения в оптическом диапазоне](#)
 - [2.2. Физика НЗ](#)
 - [2.2.1. Расчеты тепловой эволюции НЗ](#)
 - [2.2.2. Расчеты спектров НЗ с учетом атмосфер различного состава](#)
 - [2.2.3. Процессы в магнитосферах](#)
 - [2.2.4. Расчеты затухания магнитного поля НЗ](#)
 - [2.2.5. Аккреция на одиночные НЗ из межзвездной среды и из околозвездных остаточных дисков](#)
 - [2.2.6. Расчеты эволюции периодов вращения НЗ](#)
 - [2.2.7. Роль межзвездного поглощения](#)
 - [2.2.8. Популяционный синтез НЗ](#)
 - [2.3. Другие близкие области исследований](#)
 - [2.3.1. Механизмы взрывов сверхновых и возвратная аккреция \(fall-back\)](#)
 - [2.3.2. Одиночные черные дыры](#)
 - [2.3.3. Странные звезды](#)
- [3. Заключение](#)
- [Литература](#)

1. Введение

Наблюдения нейтронных звезд (НЗ) имеют уже почти 35-летнюю историю (Хьюиш, Белл и др. 1968). Основная доля известных НЗ - радиопульсары (см. данные о недавних наблюдениях в Лоример и др. 2000, Д'Амико и др. 1999 и каталог в Тейлор и др. 1993 и на сайте <http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/>). В течение первых лет изучения НЗ установилась картина эволюции этих объектов, в которой роль своеобразного стандарта выполнял пульсар в Крабовидной туманности. Это НЗ, имеющая сейчас период вращения около 0.033 секунд и магнитное поле $\sim 5.2 \cdot 10^{12}$

$$\dot{p} \sim 4.16 \cdot 10^{-13}$$

Гс. Период увеличивается с характерным значением

с/с в грубом

соответствии с магнито-дипольной формулой. Начальный период пульсара был порядка 0.020 секунд. Возраст НЗ - около 1000 лет.

Новые данные наблюдений, в первую очередь полученные в рентгеновском диапазоне, существенно дополняют эту картину. Уже в середине 90-х годов (см. Каравео и др. 1996) начало формироваться мнение о радиотихих НЗ как о "новой астрономической реальности". Теперь пульсар в Крабовидной туманности потерял свою роль полномочного представителя всей популяции НЗ, устоялся термин *радиотихие* одиночные НЗ. Об этом и пойдет речь в данной статье.

Наблюдения в рентгеновском диапазоне, в первую очередь на спутнике ROSAT (см. например Мотч 2000), показали наличие популяции источников (а возможно и нескольких различных популяций, см. ниже), отождествляемых с одиночными НЗ. Есть основания предполагать, что часть из этих объектов генетически связана с т.н. аномальными рентгеновскими пульсарами и источниками повторяющихся гамма-всплесков. Все это делает одиночные НЗ исключительно интересным объектом исследования.

Здесь мы исключаем из рассмотрения объекты, являющиеся обычными радиопульсарами (см. общий обзор в статье Бескина 1999, а обзор рентгеновских наблюдений радиопульсаров см. в работе Бекера 2000).

Мы обсудим шесть типов источников, в которых с большей или меньшей степенью достоверности находятся одиночные НЗ: слабые рентгеновские источники в диске Галактики, аномальные рентгеновские пульсары (АРП), источники мягких повторяющихся гамма-всплесков (МПГ), компактные рентгеновские источники в остатках сверхновых, слабые рентгеновские источники в шаровых скоплениях, объекты типа Геминги. Разумеется, некоторые источники могут входить сразу в две популяции (например, АРП в остатке сверхновой).

Мы описываем физические процессы, непосредственно связанные с эволюцией и природой одиночных НЗ: эволюция периодов НЗ, аккреция на одиночные НЗ, затухание магнитного поля НЗ, охлаждение НЗ, атмосферы НЗ и др. Также в данном обзоре мы кратко обсуждаем различные гипотезы, объясняющие происхождение и свойства одиночных НЗ, не являющихся классическими радиопульсарами.

Недавние обзоры теоретических моделей различных физических процессов, связанных с НЗ (особенно с внутренним строением НЗ), читатель может найти в

материалах многочисленных недавних конференций, например, Тренто-2000 ("Physics of neutron star interiors"), Бонн-1999 (Proceedings of IAU Coll. 177), Токио-1997 ("Neutron stars and pulsars"), Эльба-1999 ("The relationship between neutron stars and supernova remnants"), книгах - Шапиро и Тьюколски 1985, Липунов 1987, Майкель 1991, Саакян 1995, а также в обзорах (Яковлев и др. 1999, Ланглуа 2000, Клужняк 2000, Яковлев, Каминкер и др. 2001, Картер 2001).

Мы приводим обширную библиографию по всем упомянутым в тексте проблемам.

Обзор также доступен на сайте: http://xray.sai.msu.ru/~polar/ns_review/.

2. Актуальные проблемы астрофизики одиночных нейтронных звезд

Разделы

- [2.1. Наблюдения НЗ](#)
- [2.2. Физика НЗ](#)
- [2.3. Другие близкие области исследований](#)

Основной задачей изучения одиночных НЗ является *определение распределений начальных параметров и законов эволюции этих объектов*. Дополнительной задачей является выяснение причин возникновения соответствующих распределений.

Сегодня можно сформулировать следующие актуальные проблемы и направления исследований, существующие в этой области:

I. Наблюдения НЗ

- Наблюдения в рентгеновском диапазоне: наблюдения одиночных НЗ всех типов, поиск спектральных особенностей, исследования остатков сверхновых (поиск компактных объектов);
- Наблюдения в радио диапазоне: поиск радиоизлучения от одиночных НЗ всех типов;
- Наблюдения в ИК диапазоне: поиск слабых компаньонов и/или остаточных аккреционных дисков (аномальные рентгеновские пульсары, источники мягких повторяющихся гамма всплесков);
- Наблюдения в оптическом диапазоне: регистрация теплового излучения НЗ и поиск слабых компаньонов и/или остаточных аккреционных дисков;

II. Физика НЗ

- Расчеты тепловой эволюции НЗ;
- Расчеты спектров НЗ с учетом атмосфер различного состава;
- Процессы в магнитосферах: электродинамика магнитосфер, перенос излучения;
- Расчеты затухания магнитного поля НЗ;
- Аккреция на одиночные НЗ из межзвездной среды и из околозвездных остаточных дисков: темп аккреции, перенос момента и т.д.;
- Расчеты эволюции периодов вращения НЗ;
- Популяционный синтез НЗ, попытки построения "единых теорий";

III. Другие близкие области исследований

- Механизмы взрывов сверхновых и возвратная аккреция (fall-back); определение начальных параметров НЗ;
- Одиночные черные дыры: аккреция, возможные наблюдательные проявления;
- Странные звезды;

Среди наблюдательных задач (практически во всех диапазонах) можно особо выделить исследования переменности (особенно определение и мониторинг производной периода вращения), независимое определение магнитного поля и возраста (без использования данных о замедлении), исследования ассоциации НЗ с остатками сверхновых и поиск новых кандидатов. Большой интерес представляют также наблюдения в самых жестких диапазонах, т.к. относительно близкие радиопульсары, чей пучок излучения не попадает на Землю, могут наблюдаться как гамма-источники (Реймер и др. 2001, Гренье 2000, Гренье и Перро 2001). Отметим также, что для многих из известных источников нет точных определений расстояний и, разумеется, скоростей (об определении параллаксов радиопульсаров см., например, Тоскано и др. 1999, Чаттерье и др. 2001, Брискен и др. 2002 и ссылки там). Ниже мы рассматриваем эти задачи подробнее.

Разделы

- [2.1.1. Наблюдения в рентгеновском и гамма диапазонах](#)
- [2.1.2. Наблюдения в радио диапазоне](#)
- [2.1.3. Наблюдения в ИК диапазоне](#)
- [2.1.4. Наблюдения в оптическом диапазоне](#)

2.1. Наблюдения НЗ

Таблица 1. Слабые рентгеновские источники в диске Галактики (из работы Тревес и др. 2000 с дополнениями) Название источника	Поток ^{a)} (Пульсации) [отсч./с](%)	Эфф. темп. [эВ]	N_H [10^{20} см^{-2}]	$\log f_x/f_v$ ^{b)}	Период [с]
RX J185635-3754	3.64(4.5%)	57	2	4.9	-
RX J0720.4-3125	1.69(9%)	79	1.3	5.3	8.37
RBS1223 (1RXS J130848.6+212708)	0.29($20 \pm 2\%$)	118	~ 1	> 4.1	5.15
RBS1556 (RX J1605.3+3249)	0.88	100	< 1	> 3.5	-
RX J0806.4-4123	0.38(6.2%)	78	2.5	> 3.4	11.37
RX J0420.0-5022	0.11($34 \pm 14\%$)	57	1.7	> 3.3	22.7
RBS1774 (1RXS J214303.7+065419)	0.18	90	4.6	> 3	-

^{a)} Отсчеты для спутника РОСАТ. Доля пульсирующего излучения взята из работы (Хаберл, Завлин 2002).

^{b)} f_x и f_v - потоки в рентгеновском (РОСАТ) и оптическом диапазонах, соответственно.

Наиболее обширные и длительные наблюдения НЗ - наблюдения радиопульсаров в радиодиапазоне - не входят в данный обзор. Из прочих данных самыми подробными являются рентгеновские и гамма наблюдения. В радио-, ИК- и оптическом диапазонах о НЗ получено заметно меньше сведений.

2.1.1. Наблюдения в рентгеновском и гамма диапазонах

Для одиночных радиотихих НЗ наиболее важным оказался рентгеновский диапазон. В этом пункте мы рассмотрим близкие радиотихие НЗ, слабые рентгеновские

источники в шаровых скоплениях, источники в остатках сверхновых, аномальные рентгеновские пульсары и источники мягких повторяющихся гамма-всплесков.

Спутником ROSAT открыто уже семь радиотихих нейтронных звезд. Еще один кандидат (MS 0317) был открыт ранее на обсерватории "Эйнштейн", однако в последнее время стало очевидным, что он является внегалактическим объектом (мы благодарим Г.Г. Павлова за соответствующее замечание). Это относительно яркие объекты (> 0.1 отсчета в секунду). Два источника зарегистрированы в оптическом диапазоне (RX J1856 и RX J0720). Для остальных существуют только верхние пределы (см. таблицу 1). По отношению рентгеновского и оптического потоков можно считать доказанным, что эти источники являются одиночными нейтронными звездами.

В начале 90-х годов ожидалось, что спутник ROSAT увидит большое количество одиночных старых аккрецирующих НЗ (Тревес и Колпи 1991, Блаез и Раджагопал 1991, Блаез и Мадау 1993, Колпи и др. 1993). Последующие наблюдения на этом спутнике показали наличие лишь небольшой популяции слабых рентгеновских источников в диске Галактики, которые по-видимому являются одиночными НЗ (охлаждающимися или аккрецирующими) (см. Хаберл и др. 1998, Тревес и др. 2000, Нойхойзер, Трюмпер 1999; последний кандидат описан в работе Зампьеро и др. 2001). Основным аргументом в пользу такой интерпретации является аномально высокое отношение рентгеновской светимости к оптической ($\log \frac{f_x}{f_v} > 3$). Отсутствие радиоизлучения, а также тепловой спектр свидетельствуют о том, что объекты не являются классическими радиопульсарами.

У четырех объектов "великолепной семерки" наблюдаются пульсации рентгеновского потока с периодами 5-20 секунд. Длительные (450 000 сек) наблюдения наиболее изученного источника RX J185635-3754 (Рэнсом и др. 2001) показали отсутствие пульсаций вплоть до нескольких процентов.

Для двух источников измерены производные периода. В работе Дзане и др. (2002)

получено значение $\dot{p} \sim 10^{-14}$ для источника RX J0720.4-3125. Хамбарян и др. (2001)

приводят значение $(0.7 - 2.0) \cdot 10^{-11}$ для источника RBS1223.

Пфал и Раппопорт (2001) предположили, что некоторые из слабых источников в шаровых скоплениях могут быть старыми аккрецирующими одиночными НЗ. В настоящее время спутником Чандра открыто множество подобных источников и их количество стремительно продолжает расти (см. также Вербунт 2001). Для них

$$10^{31} - 10^{34}$$

характерны светимости порядка эрг/с. Эти объекты концентрируются к центрам скоплений. Источники характеризуются относительно мягкими спектрами $kT \sim 0.1 - 0.5$ кэВ.

Популяционный синтез (см. ниже) показал, что гипотеза Пфала и Раппопорта не противоречит стандартной картине эволюции НЗ. Таким образом необходимы дальнейшие наблюдения (в первую очередь исследования переменности на разных масштабах) для определения природы этих объектов.

Для понимания ключевого вопроса о начальных параметрах НЗ крайне важным классом объектов являются источники в остатках сверхновых (обзор по механизмам вспышек см. в Янка и др. 2001). В последнее время открыто несколько компактных источников в остатках сверхновых (см. Павлов и др. 2001a). По всей видимости это молодые НЗ, многие из которых не являются радиопульсарами (см. таблицу 2). Количество радиотихих НЗ в остатках сверхновых уже сравнимо с количеством радиопульсаров в остатках. По этой теме существует обширная библиография (см. таблицу 2).

Можно выделить три основные гипотезы, объясняющие появление компактных рентгеновских источников в остатках сверхновых: тепловое излучение поверхности молодой горячей НЗ, нетепловое излучение молодого пульсара (в этом случае следует ожидать если не регистрации самого пульсара, то хотя бы возникновения плериона), возвратная аккреция на молодую НЗ (или черную дыру) вещества остатка сверхновой (fall-back).

Важными наблюдательными фактами для интерпретации природы источников являются наличие периодов и переменность рентгеновского потока. Периоды АРП и МПГ лежат в диапазоне 5-12 секунд. Другие источники обладают короткими

$$\dot{p} \sim 7.1 \cdot 10^{-12}$$

периодами (например $p=0.325$ с и производная периода у источника в Kes 75 (Мерегети и др. 2002a), $p=0.424$ с у источника в G296.5+10, для этого

$$\dot{p} \sim (0.7 - 3) \cdot 10^{-14}$$

объекта также измерена производная периода (Павлов и др. 2002)). Источники в RCW 103 и G29.6+0.1 показывают существенную переменность рентгеновского излучения на больших временах, поток при этом может изменяться на порядок.

Рассмотрим трудности в интерпретации радиотихих источников на конкретном примере *Cas A*.

Остаток сверхновой Cas A является хорошо известным объектом, но природа компактного объекта в настоящее время неясна.

Расстояние до остатка порядка 3.4 кпк. Его радиус около 2 пк. Возраст остатка оценивается примерно в триста лет (есть указания, что вспышка сверхновой наблюдалась Флемстедом в 1680 г.). Это самый молодой из известных остатков сверхновых в нашей Галактике.

Наблюдения на спутнике Чандра дали много новых данных. Собственно компактный источник был открыт во время первых наблюдений на этом спутнике в августе 1999 г. (здесь мы следуем работам Павлова и др. 2000, Чакрабарти и др. 2001).

Компактный источник расположен практически в центре остатка. Оптические и ИК наблюдения дают только верхние пределы на излучение компактного объекта.

Сложности начинаются уже при определении светимости компактного источника. В зависимости от модели спектра (чернотельный или степенной) светимость оценивается от $\sim 2 \cdot 10^{33}$ эрг с^{-1} до $\sim 6 \cdot 10^{35}$ эрг с^{-1} . Важной особенностью является маленькая площадь ($\sim 1 \text{ км}^2$) излучающей поверхности во всех вариантах интерпретации спектра. Эти характеристики не дают возможности однозначно определить природу компактного источника и механизм излучения.

Радиопульсары в остатках сверхновых являются подклассом наиболее молодых пульсаров, и потому чрезвычайно важны для определения начальных параметров НЗ. Однако, до сих пор не ясно, какая доля сверхновых порождает радиопульсары. Вопросы ассоциации радиопульсаров с остатками сверхновых с наблюдательной точки зрения детально рассматривались в обзорах Каспи (1996), Лоримера и др. (1998), Готтхелфа и Васишта (2000) и статьях Брауна и др (1989), Камило и др. (2001), Нараяна и Шаудта (1988). Теоретические расчеты числа таких ассоциаций можно найти в работах Генслера и Джонстона (1995а,б,в). Трудности, связанные с

определением возрастов пульсаров, недавно обсуждались на примере В1757-24 (Генслер, Фрейл 2000). АРП и МПГ в остатках сверхновых изучались Марсденом с соавторами (1999). Ранний обзор по компактным рентгеновским источникам в остатках сверхновых можно найти в работе Бразьер и Джонстона (1999). По всем этим вопросам было проведено несколько крупных международных конференций (см., например, "The relationship between neutron stars and supernova remnants"). На русском языке детальный обзор остатков сверхновых приведен в книге Лозинской (1986), а также в обзоре Блинников и др. (1987).

Таблица 2. Компактные рентгеновские источники в остатках сверхновых (из работы Чакрабарти и др. 2000 с дополнениями из Хелфанд 1998) Название источника и остатка	Тип остатка	Период, с	Ссылки
Cas A	Оболоч.	-	Чакрабарти и др. (2000)
1E 121348-5055 (RCW 103)	Оболоч.	-	Каспи и др. (1998)
1E 0820-4247 (Pup A)	Оболоч.	-	Петре и др. (1996)
1E 1207.4-5209 (G296.5+10)	Оболоч.	0.424	Мерегетти и др. (1996) Павлов и др. (2000)
AX J0851.9-4617.4 (G266.2-1.2)	Оболоч.	-	Слейн и др. (2001) Мерегетти (2000)
PSR J1846-0258 (Kes 75)	Композ.	0.325	Готтхелф и др. (2000)
1E 1438.7-6215 (RCW 86)	Оболоч.	-	Винк и др. (2000)
RX J0002+6246 (G117.7+0.6)	Оболоч.	0.242	Бразьер, Джонстон (1999)
RX J2020.2+4026 (G78.2+2.1)	Оболоч.	-	Бразьер, Джонстон (1999)
RX J0201.8+6435 (3C58)	Плерион	0.065	Мюппей и др.

			(2002)
RX J0007.0+7302 (CTA1)	Плерион	-	Чакрабарти и др. (2000)
Название источника и остатка	Тип источника	Период, с	Ссылки
1E 1841-045 (Kes 73)	АРП	11.8	Мерегетти (1999)
AX J1845-0258 (G29.6+0.1)	АРП	6.97	Генслер и др. (1999) Мерегетти (1999)
1E 2259+586 (CTB 109)	АРП	6.98	Мерегетти (1999)
SGR 1900+14 (G42.8+0.6)	МПГ	5.16	Харлей (1999)
SGR 0526-66 (N49)	МПГ	8	Харлей (1999)
SGR 1627-41 (G337.0-0.1)	МПГ	6.41	Харлей (1999)

Пожалуй самыми "модными" объектами из всех, рассматривающихся в нашем обзоре являются АРП (Мерегетти, Стелла 1995, ван Парадайз и др. 1995) и МПГ (Мазец и др. 1979, см. также обзор ранних наблюдений в Мазец, Голенецкий 1987).

МПГ представляют собой объекты, демонстрирующие случайные (непредсказуемые) периоды вспышечной активности в мягком (< 100 кэВ) гамма-диапазоне (см. каталог МПГ в статье Аптекарь и др. 2001). Периоды активности длятся от дней до месяцев. Вспышки соответствуют светимости выше эддингтоновской для объекта солнечной массы. Иногда происходят гигантские вспышки, которые характеризуются более жестким спектром и энергией в тысячи раз больше, чем выделяется в обычной вспышке.

В спокойном состоянии МПГ наблюдаются как относительно мягкие рентгеновские источники. Всего на данный момент известно 4 таких источника: SGR 1900+14 ($p=5.16$ с), SGR 1806-20 ($p=7.47$ с), SGR 1627-41 ($p=6.4$ с), SGR 0525-66 ($p=8$ с). (см. обзоры в Израел и др. 2001, Мерегетти 1999, Харлей 1999, Томпсон 2000). Некоторые из них находятся в остатках сверхновых, однако степень достоверности генетической связи между МПГ и остатками остается под вопросом (см. таблицу 2). Источник SGR 1806-20 находится в скоплении массивных звезд (Эйкенберри 2002).

АРП были выделены в отдельный класс в 1995 году. Они характеризуются близкими периодами порядка 6-12 секунд (1E 1048.1-5937 - 6.44 с; 4U 0142+61 - 8.69 с; 1E 1841-045 - 11.77 с; 1E 2259+586 - 6.98 с; 1RXS J170849.0-400910 - 10.99 с; AX J1845-0258 - 6.97 с), низкими светимостями ($\sim 10^{35}$ эрг с⁻¹) и более мягким спектром, чем у обычных рентгеновских пульсаров в тесных двойных системах, стабильной светимостью на больших масштабах времени (обычно для рентгеновских пульсаров в тесных двойных системах характерна заметная переменность), постоянным замедлением (т.е. отсутствием эпизодов уменьшения периода вращения) и отсутствием данных о наличии второго компонента системы (см. обзоры Мерегетти 1999, Томпсона 2000 и Мерегетти и др. 2002б).

Сейчас уже не вызывает больших сомнений то, что АРП являются одиночными НЗ (не исключены только очень маломассивные компаньоны). Однако, природа светимости (аккреция или тепловое излучение горячей звезды) остается неизвестной. Вероятно наиболее важную информацию можно получать из детальных данных об изменении периодов этих объектов (Гавриил, Каспи 2002, Пол и др. 2000), а также из спектральных характеристик (особенно во время вспышек см. Марсден и Вайт 2001, Перна и др. 2001). Для получения этой информации необходим мониторинг (см. Готтхелф и др. 2001, Гавриил и др. 2001).

В последнее время появились результаты по рентгеновской спектроскопии АРП и МПГ. Спутник Чандра наблюдал АРП 4U 0142+61 (Джюэт и др. 2002). Не было найдено никаких указаний на присутствие в спектре эмиссионных или абсорбционных линий. Если источник является магнитаром, то эти данные накладывают существенные ограничения на модель атмосферы.

Особое место среди одиночных радиотихих НЗ занимает Геминга (однако, на очень низких частотах удалось зарегистрировать и радиоизлучение от этого объекта, см. Кузьмин и Лосовский 1997, Малофеев и Малов 1997, Шитов и Пугачев 1998). Объект Геминга (см. Каравео 2000, Биньями, Каравео 1996) был открыт в гамма диапазоне в 1973 г. на спутнике SAS-2. В 1992 г. Хальперн и Холт объявили об открытии периода 237 мс. Источники данного типа очень трудно обнаружить, поэтому доля подобных НЗ неизвестна даже примерно. Вероятно, что Геминга это радиопульсар, чей основной пучок излучения не попадает на Землю, поэтому удается наблюдать лишь низкочастотное радиоизлучение. Ожидается, что будущие спутники (GLAST и др.)

смогут увидеть в жестком диапазоне сотни НЗ такого типа в Галактике. Сегодня известен один объект очень похожий по своим свойствам на гемингу - 3EG J1835+5918 (Мирабал, Гальперн 2001)

2.1.2. Наблюдения в радио диапазоне

В настоящее время основная масса нейтронных звезд наблюдаются как радиопульсары. Сейчас число известных источников этого типа перевалило за тысячу, а в будущем с созданием километровой антенной решетки станет возможным наблюдение практически всех радиопульсаров в Галактике, чей пучок направлен на нас (Браун 1996). В связи с этим оказывается очень важным пытаться пронаблюдать все НЗ в этом диапазоне.

В большинстве моделей радиоизлучения НЗ конус излучения шире в низкочастотной области, поэтому активные поиски радио сигналов от "нестандартных" НЗ ведутся в ПРАО АКЦ ФИ РАН на низких частотах (порядка 110 МГц). Уже зарегистрировано радиоизлучение Геминги (Кузьмин и Лосовский 1997, Малофеев и Малов 1997, Шитов и Пугачев 1998), одного источника повторяющихся гамма-всплесков (Шитов и др. 2000) и одного аномального рентгеновского пульсара (Малофеев, Малов, см. astro-ph/0106435 стр.31). В связи с уникальностью радиотелескопа ПРАО эти результаты пока не имеют надежного независимого подтверждения, кроме регистрации Геминги (см. Ватс и др. 1997). Отсутствие излучения на более высокочастотной части радио диапазона может свидетельствовать о крутом спектре.

2.1.3. Наблюдения в ИК диапазоне

Наблюдения в ИК диапазоне относятся в основном к аномальным рентгеновским пульсарам. Для объяснения этих источников предложено существование остаточных аккреционных дисков (см. ниже раздел, посвященный аккреции). Для выбора между существующими моделями и необходимы ИК наблюдения.

Для источника АХР 1E2259+58.6 получены данные, указывающие на наличие ИК объекта (Халлеман и др. 2001). Клозе и др. (2002) сообщают об отрицательных результатах ИК наблюдений источника SGR 1900+14.

Пока полученные результаты свидетельствуют об отсутствии аккреционных дисков или маломассивных компонентов у АРП и МПГ. Однако, необходимы дальнейшие исследования.

2.1.4. Наблюдения в оптическом диапазоне

Наблюдения одиночных НЗ всех типов в оптическом диапазоне представляют большой интерес (см. Каравео 2000).

Начнем с семи одиночных радиотихих НЗ, открытых спутником ROSAT. Эти объекты были выделены как возможные НЗ именно по большому отношению рентгеновской светимости к оптической (см. таблицу 1). Лишь два источника достоверно зарегистрированы в оптике. Для остальных известны только верхние пределы.

Возможной интерпретацией рентгеновского потока от объектов "великолепной семерки" является тепловое излучение поверхности молодой НЗ. В связи с этим важно зарегистрировать тепловое излучение в других спектральных диапазонах.

Наблюдения НЗ активно ведутся на Космическом телескопе. Так по наблюдениям SGR 0526-66 (Каплан 2001а) получены важные ограничения на обе модели (аккреционную и магнитарную).

Много наблюдательных данных получено по источникам RX J1856 и RXJ0720. В частности, для RX J1856 удалось определить параллакс (первым, но с существенной ошибкой, параллакс получил Волтер (2001), уточнение этого значения было сделано в (Каплан и др. 2001б), а затем в (Волтер, Латтимер 2002)). Расстояние до объекта равно 117 ± 12 пк.

Предложено оптическое отождествление для аномального пульсара 4U 0142+614 (Халлеман и др. 2000). Для нескольких источников получены важные верхние пределы (Израел и др. 2001).

Особое место занимают оптические наблюдения Геминги (см. Биньями и Каравео 1996).

Кроме наблюдения оптического излучения от самой НЗ важным является наблюдение ее самых близких окрестностей. Так наблюдение туманностей вокруг радиопульсаров позволило сделать заключение о скорости их движения и о том, что на измеренном расстоянии от них истекают потоки частиц, а не электромагнитного

излучения. Ван Керквийк и Кулкарни (2001) обнаружили в H_{α} кометообразную туманность вокруг источника RX J1856. Это открытие является существенным аргументом против аккреционной интерпретации излучения данного объекта.

В нашей стране оптическими наблюдениями НЗ активно занимаются две группы на 6-метровом телескопе в САО РАН (Курт и др. 1997, Копцевич и др. 2001, Голден и др. 2000 и Бескин, Неустроев 2001). Пока положительный результат получен только для радиопульсаров и Геминги, но наблюдения продолжаются. Оригинальными результатами последней группы было обнаружение отсутствия микроструктуры оптического импульса и наличие оптического излучения (для пульсара в Крабе) в межимпульсном промежутке.

Разделы

- [2.1.1. Наблюдения в рентгеновском и гамма диапазонах](#)
- [2.1.2. Наблюдения в радио диапазоне](#)
- [2.1.3. Наблюдения в ИК диапазоне](#)
- [2.1.4. Наблюдения в оптическом диапазоне](#)

2.1. Наблюдения НЗ

Таблица 1. Слабые рентгеновские источники в диске Галактики (из работы Тревес и др. 2000 с дополнениями) Название источника	Поток ^{a)} (Пульсации) [отсч./с](%)	Эфф. темп. [эВ]	N_H [10^{20} см^{-2}]	$\log fx/fv$ ^{b)}	Период [с]
RX J185635-3754	3.64(4.5%)	57	2	4.9	-
RX J0720.4-3125	1.69(9%)	79	1.3	5.3	8.37
RBS1223 (1RXS J130848.6+212708)	$20 \pm 2\%$ 0.29()	118	~ 1	> 4.1	5.15
RBS1556 (RX J1605.3+3249)	0.88	100	< 1	> 3.5	-
RX J0806.4-4123	0.38(6.2%)	78	2.5	> 3.4	11.37

RX J0420.0-5022	0.11(34 ± 14%)	57	1.7	> 3.3	22.7
RBS1774 (1RXS J214303.7+065419)	0.18	90	4.6	> 3	-

^{a)} Отсчеты для спутника ROSAT. Доля пульсирующего излучения взята из работы (Хаберл, Завлин 2002).

^{b)} f_X и f_V - потоки в рентгеновском (РОСАТ) и оптическом диапазонах, соответственно.

Наиболее обширные и длительные наблюдения НЗ - наблюдения радиопульсаров в радиодиапазоне - не входят в данный обзор. Из прочих данных самыми подробными являются рентгеновские и гамма наблюдения. В радио-, ИК- и оптическом диапазонах о НЗ получено заметно меньше сведений.

2.1.1. Наблюдения в рентгеновском и гамма диапазонах

Для одиночных радиотихих НЗ наиболее важным оказался рентгеновский диапазон. В этом пункте мы рассмотрим близкие радиотихие НЗ, слабые рентгеновские источники в шаровых скоплениях, источники в остатках сверхновых, аномальные рентгеновские пульсары и источники мягких повторяющихся гамма-всплесков.

Спутником ROSAT открыто уже семь радиотихих нейтронных звезд. Еще один кандидат (MS 0317) был открыт ранее на обсерватории "Эйнштейн", однако в последнее время стало очевидным, что он является внегалактическим объектом (мы благодарим Г.Г. Павлова за соответствующее замечание). Это относительно яркие объекты (> 0.1 отсчета в секунду). Два источника зарегистрированы в оптическом диапазоне (RX J1856 и RX J0720). Для остальных существуют только верхние пределы (см. таблицу 1). По отношению рентгеновского и оптического потоков можно считать доказанным, что эти источники являются одиночными нейтронными звездами.

В начале 90-х годов ожидалось, что спутник ROSAT увидит большое количество одиночных старых аккрецирующих НЗ (Тревес и Колпи 1991, Блаез и Раджагопал 1991, Блаез и Мадау 1993, Колпи и др. 1993). Последующие наблюдения на этом спутнике показали наличие лишь небольшой популяции слабых рентгеновских источников в диске Галактики, которые по-видимому являются одиночными НЗ (охлаждающимися или аккрецирующими) (см. Хаберл и др. 1998, Тревес и др. 2000,

Нойхойзер, Трюмпер 1999; последний кандидат описан в работе Зампьеро и др. (2001). Основным аргументом в пользу такой интерпретации является аномально высокое отношение рентгеновской светимости к оптической ($\log \frac{f_x/f_v > 3$). Отсутствие радиоизлучения, а также тепловой спектр свидетельствуют о том, что объекты не являются классическими радиопульсарами.

У четырех объектов "великолепной семерки" наблюдаются пульсации рентгеновского потока с периодами 5-20 секунд. Длительные (450 000 сек) наблюдения наиболее изученного источника RX J185635-3754 (Рэнсом и др. 2001) показали отсутствие пульсаций вплоть до нескольких процентов.

Для двух источников измерены производные периода. В работе Дзане и др. (2002)

получено значение $\dot{p} \sim 10^{-14}$ для источника RX J0720.4-3125. Хамбарян и др. (2001)

приводят значение $(0.7 - 2.0) \cdot 10^{-11}$ для источника RBS1223.

Пфал и Раппопорт (2001) предположили, что некоторые из слабых источников в шаровых скоплениях могут быть старыми аккрецирующими одиночными НЗ. В настоящее время спутником Чандра открыто множество подобных источников и их количество стремительно продолжает расти (см. также Вербунт 2001). Для них

характерны светимости порядка $10^{31} - 10^{34}$ эрг/с. Эти объекты концентрируются к центрам скоплений. Источники характеризуются относительно мягкими спектрами $kT \sim 0.1 - 0.5$ кэВ.

Популяционный синтез (см. ниже) показал, что гипотеза Пфала и Рапппорта не противоречит стандартной картине эволюции НЗ. Таким образом необходимы дальнейшие наблюдения (в первую очередь исследования переменности на разных масштабах) для определения природы этих объектов.

Для понимания ключевого вопроса о начальных параметрах НЗ крайне важным классом объектов являются источники в остатках сверхновых (обзор по механизмам вспышек см. в Янка и др. 2001). В последнее время открыто несколько компактных источников в остатках сверхновых (см. Павлов и др. 2001а). По всей видимости это молодые НЗ, многие из которых не являются радиопульсарами (см. таблицу 2). Количество радиотихих НЗ в остатках сверхновых уже сравнимо с количеством

радиопульсаров в остатках. По этой теме существует обширная библиография (см. таблицу 2).

Можно выделить три основные гипотезы, объясняющие появление компактных рентгеновских источников в остатках сверхновых: тепловое излучение поверхности молодой горячей НЗ, нетепловое излучение молодого пульсара (в этом случае следует ожидать если не регистрации самого пульсара, то хотя бы возникновения плериона), возвратная аккреция на молодую НЗ (или черную дыру) вещества остатка сверхновой (fall-back).

Важными наблюдательными фактами для интерпретации природы источников являются наличие периодов и переменность рентгеновского потока. Периоды АРП и МПГ лежат в диапазоне 5-12 секунд. Другие источники обладают короткими

периодами (например $p=0.325$ с и производная периода $\dot{p} \sim 7.1 \cdot 10^{-12}$ у источника в Kes 75 (Мерегетти и др. 2002a), $p=0.424$ с у источника в G296.5+10, для этого

объекта также измерена производная периода $\dot{p} \sim (0.7 - 3) \cdot 10^{-14}$ (Павлов и др. 2002)). Источники в RCW 103 и G29.6+0.1 показывают существенную переменность рентгеновского излучения на больших временах, поток при этом может изменяться на порядок.

Рассмотрим трудности в интерпретации радиотихих источников на конкретном примере *Cas A*.

Остаток сверхновой *Cas A* является хорошо известным объектом, но природа компактного объекта в настоящее время неясна.

Расстояние до остатка порядка 3.4 кпк. Его радиус около 2 пк. Возраст остатка оценивается примерно в триста лет (есть указания, что вспышка сверхновой наблюдалась Флемстедом в 1680 г.). Это самый молодой из известных остатков сверхновых в нашей Галактике.

Наблюдения на спутнике Чандра дали много новых данных. Собственно компактный источник был открыт во время первых наблюдений на этом спутнике в августе 1999 г. (здесь мы следуем работам Павлова и др. 2000, Чакрабарти и др. 2001).

Компактный источник расположен практически в центре остатка. Оптические и ИК наблюдения дают только верхние пределы на излучение компактного объекта.

Сложности начинаются уже при определении светимости компактного источника. В зависимости от модели спектра (чернотельный или степенной) светимость оценивается от $\sim 2 \cdot 10^{33}$ эрг с⁻¹ до $\sim 6 \cdot 10^{35}$ эрг с⁻¹. Важной особенностью является маленькая площадь (~ 1 км²) излучающей поверхности во всех вариантах интерпретации спектра. Эти характеристики не дают возможности однозначно определить природу компактного источника и механизм излучения.

Радиопульсары в остатках сверхновых являются подклассом наиболее молодых пульсаров, и потому чрезвычайно важны для определения начальных параметров НЗ. Однако, до сих пор не ясно, какая доля сверхновых порождает радиопульсары. Вопросы ассоциации радиопульсаров с остатками сверхновых с наблюдательной точки зрения детально рассматривались в обзорах Каспи (1996), Лоримера и др. (1998), Готтхелфа и Васишта (2000) и статьях Брауна и др (1989), Камило и др. (2001), Нараяна и Шаудта (1988). Теоретические расчеты числа таких ассоциаций можно найти в работах Генслера и Джонстона (1995а,б,в). Трудности, связанные с определением возрастов пульсаров, недавно обсуждались на примере В1757-24 (Генслер, Фрейл 2000). АРП и МПГ в остатках сверхновых изучались Марсденом с соавторами (1999). Ранний обзор по компактным рентгеновским источникам в остатках сверхновых можно найти в работе Бразьер и Джонстона (1999). По всем этим вопросам было проведено несколько крупных международных конференций (см., например, "The relationship between neutron stars and supernova remnants"). На русском языке детальный обзор остатков сверхновых приведен в книге Лозинской (1986), а также в обзоре Блинников и др. (1987).

Таблица 2. Компактные рентгеновские источники в остатках сверхновых (из работы Чакрабарти и др. 2000 с дополнениями из Хелфанд 1998) Название источника и остатка	Тип остатка	Период, с	Ссылки
Cas A	Оболоч.	-	Чакрабарти и др. (2000)
1E 121348-5055 (RCW 103)	Оболоч.	-	Каспи и др. (1998)
1E 0820-4247 (Pup A)	Оболоч.	-	Петре и др. (1996)
1E 1207.4-5209 (G296.5+10)	Оболоч.	0.424	Менегетти

			и др. (1996) Павлов и др. (2000)
AX J0851.9-4617.4 (G266.2-1.2)	Оболоч.	-	Слейн и др. (2001) Мерегетти (2000)
PSR J1846-0258 (Kes 75)	Композ.	0.325	Готтхелф и др. (2000)
1E 1438.7-6215 (RCW 86)	Оболоч.	-	Винк и др. (2000)
RX J0002+6246 (G117.7+0.6)	Оболоч.	0.242	Бразиер, Джонстон (1999)
RX J2020.2+4026 (G78.2+2.1)	Оболоч.	-	Бразиер, Джонстон (1999)
RX J0201.8+6435 (3C58)	Плерион	0.065	Мюррей и др. (2002)
RX J0007.0+7302 (CTA1)	Плерион	-	Чакрабарти и др. (2000)
Название источника и остатка	Тип источника	Период, с	Ссылки
1E 1841-045 (Kes 73)	АРП	11.8	Мерегетти (1999)
AX J1845-0258 (G29.6+0.1)	АРП	6.97	Генслер и др. (1999) Мерегетти (1999)
1E 2259+586 (CTB 109)	АРП	6.98	Мерегетти (1999)
SGR 1900+14 (G42.8+0.6)	МПГ	5.16	Харлей (1999)
SGR 0526-66 (N49)	МПГ	8	Харлей (1999)
SGR 1627-41 (G337.0-0.1)	МПГ	6.41	Харлей (1999)

Пожалуй самыми "модными" объектами из всех, рассматривающихся в нашем обзоре являются АРП (Мерегетти, Стелла 1995, ван Парадайз и др. 1995) и МПГ (Мазец и др. 1979, см. также обзор ранних наблюдений в Мазец, Голенецкий 1987).

МПГ представляют собой объекты, демонстрирующие случайные (непредсказуемые) периоды вспышечной активности в мягком (< 100 кэВ) гамма-диапазоне (см. каталог МПГ в статье Аптекарь и др. 2001). Периоды активности делятся от дней до месяцев. Вспышки соответствуют светимости выше эддингтоновской для объекта солнечной массы. Иногда происходят гигантские вспышки, которые характеризуются более жестким спектром и энергией в тысячи раз больше, чем выделяется в обычной вспышке.

В спокойном состоянии МПГ наблюдаются как относительно мягкие рентгеновские источники. Всего на данный момент известно 4 таких источника: SGR 1900+14 ($p=5.16$ с), SGR 1806-20 ($p=7.47$ с), SGR 1627-41 ($p=6.4$ с), SGR 0525-66 ($p=8$ с). (см. обзоры в Израел и др. 2001, Мерегетти 1999, Харлей 1999, Томпсон 2000). Некоторые из них находятся в остатках сверхновых, однако степень достоверности генетической связи между МПГ и остатками остается под вопросом (см. таблицу 2). Источник SGR 1806-20 находится в скоплении массивных звезд (Эйкенберри 2002).

АРП были выделены в отдельный класс в 1995 году. Они характеризуются близкими периодами порядка 6-12 секунд (1E 1048.1-5937 - 6.44 с; 4U 0142+61 - 8.69 с; 1E 1841-045 - 11.77 с; 1E 2259+586 - 6.98 с; 1RXS J170849.0-400910 - 10.99 с; AX J1845-0258 - 6.97 с), низкими светимостями ($\sim 10^{35}$ эрг с $^{-1}$) и более мягким спектром, чем у обычных рентгеновских пульсаров в тесных двойных системах, стабильной светимостью на больших масштабах времени (обычно для рентгеновских пульсаров в тесных двойных системах характерна заметная переменность), постоянным замедлением (т.е. отсутствием эпизодов уменьшения периода вращения) и отсутствием данных о наличии второго компонента системы (см. обзоры Мерегетти 1999, Томпсона 2000 и Мерегетти и др. 2002б).

Сейчас уже не вызывает больших сомнений то, что АРП являются одиночными НЗ (не исключены только очень маломассивные компаньоны). Однако, природа светимости (аккреция или тепловое излучение горячей звезды) остается неизвестной. Вероятно наиболее важную информацию можно получать из детальных данных об изменении периодов этих объектов (Гавриил, Каспи 2002, Пол и др. 2000), а также из спектральных характеристик (особенно во время вспышек см. Марсден и Вайт 2001, Перна и др. 2001). Для получения этой информации необходим мониторинг (см. Готтхелф и др. 2001, Гавриил и др. 2001).

В последнее время появились результаты по рентгеновской спектроскопии АРП и МПГ. Спутник Чандра наблюдал АРП 4U 0142+61 (Джюэт и др. 2002). Не было найдено никаких указаний на присутствие в спектре эмиссионных или абсорбционных линий. Если источник является магнитаром, то эти данные накладывают существенные ограничения на модель атмосферы.

Особое место среди одиночных радиотихих НЗ занимает Геминга (однако, на очень низких частотах удалось зарегистрировать и радиоизлучение от этого объекта, см. Кузьмин и Лосовский 1997, Малофеев и Малов 1997, Шитов и Пугачев 1998). Объект Геминга (см. Каравео 2000, Биньями, Каравео 1996) был открыт в гамма диапазоне в 1973 г. на спутнике SAS-2. В 1992 г. Хальперн и Холт объявили об открытии периода 237 мс. Источники данного типа очень трудно обнаружить, поэтому доля подобных НЗ неизвестна даже примерно. Вероятно, что Геминга это радиопульсар, чей основной пучок излучения не попадает на Землю, поэтому удается наблюдать лишь низкочастотное радиоизлучение. Ожидается, что будущие спутники (GLAST и др.) смогут увидеть в жестком диапазоне сотни НЗ такого типа в Галактике. Сегодня известен один объект очень похожий по своим свойствам на гемингу - 3EG J1835+5918 (Мирабал, Гальперн 2001)

2.1.2. Наблюдения в радио диапазоне

В настоящее время основная масса нейтронных звезд наблюдаются как радиопульсары. Сейчас число известных источников этого типа перевалило за тысячу, а в будущем с созданием километровой антенной решетки станет возможным наблюдение практически всех радиопульсаров в Галактике, чей пучок направлен на нас (Браун 1996). В связи с этим оказывается очень важным пытаться пронаблюдать все НЗ в этом диапазоне.

В большинстве моделей радиоизлучения НЗ конус излучения шире в низкочастотной области, поэтому активные поиски радио сигналов от "нестандартных" НЗ ведутся в ПРАО АКЦ ФИ РАН на низких частотах (порядка 110 МГц). Уже зарегистрировано радиоизлучение Геминги (Кузьмин и Лосовский 1997, Малофеев и Малов 1997, Шитов и Пугачев 1998), одного источника повторяющихся гамма-всплесков (Шитов и др. 2000) и одного аномального рентгеновского пульсара (Малофеев, Малов, см.

[astro-ph/0106435](#) стр.31). В связи с уникальностью радиотелескопа ПРАО эти результаты пока не имеют надежного независимого подтверждения, кроме регистрации Геминги (см. Ватс и др. 1997). Отсутствие излучения на более высокочастотной части радио диапазона может свидетельствовать о крутом спектре.

2.1.3. Наблюдения в ИК диапазоне

Наблюдения в ИК диапазоне относятся в основном к аномальным рентгеновским пульсарам. Для объяснения этих источников предложено существование остаточных аккреционных дисков (см. ниже раздел, посвященный аккреции). Для выбора между существующими моделями и необходимы ИК наблюдения.

Для источника АХР 1E2259+58.6 получены данные, указывающие на наличие ИК объекта (Халлеман и др. 2001). Клозе и др. (2002) сообщают об отрицательных результатах ИК наблюдений источника SGR 1900+14.

Пока полученные результаты свидетельствуют об отсутствии аккреционных дисков или маломассивных компонентов у АРП и МПГ. Однако, необходимы дальнейшие исследования.

2.1.4. Наблюдения в оптическом диапазоне

Наблюдения одиночных НЗ всех типов в оптическом диапазоне представляют большой интерес (см. Каравео 2000).

Начнем с семи одиночных радиотихих НЗ, открытых спутником РОСАТ. Эти объекты были выделены как возможные НЗ именно по большому отношению рентгеновской светимости к оптической (см. таблицу 1). Лишь два источника достоверно зарегистрированы в оптике. Для остальных известны только верхние пределы.

Возможной интерпретацией рентгеновского потока от объектов "великолепной семерки" является тепловое излучение поверхности молодой НЗ. В связи с этим важно зарегистрировать тепловое излучение в других спектральных диапазонах.

Наблюдения НЗ активно ведутся на Космическом телескопе. Так по наблюдениям SGR 0526-66 (Каплан 2001а) получены важные ограничения на обе модели (аккреционную и магнитарную).

Много наблюдательных данных получено по источникам RX J1856 и RXJ0720. В частности, для RX J1856 удалось определить параллакс (первым, но с существенной ошибкой, параллакс получил Волтер (2001), уточнение этого значения было сделано в (Каплан и др. 2001б), а затем в (Волтер, Латтимер 2002)). Расстояние до объекта равно 117 ± 12 пк.

Предложено оптическое отождествление для аномального пульсара 4U 0142+614 (Халлеман и др. 2000). Для нескольких источников получены важные верхние пределы (Израел и др. 2001).

Особое место занимают оптические наблюдения Геминги (см. Биньями и Каравео 1996).

Кроме наблюдения оптического излучения от самой НЗ важным является наблюдение ее самых близких окрестностей. Так наблюдение туманностей вокруг радиопульсаров позволило сделать заключение о скорости их движения и о том, что на измеренном расстоянии от них истекают потоки частиц, а не электромагнитного излучения. Ван Керквийк и Кулкарни (2001) обнаружили в H_{α} кометообразную туманность вокруг источника RX J1856. Это открытие является существенным аргументом против аккреционной интерпретации излучения данного объекта.

В нашей стране оптическими наблюдениями НЗ активно занимаются две группы на 6-метровом телескопе в САО РАН (Курт и др. 1997, Копцевич и др. 2001, Голден и др. 2000 и Бескин, Неустроев 2001). Пока положительный результат получен только для радиопульсаров и Геминги, но наблюдения продолжаются. Оригинальными результатами последней группы было обнаружение отсутствия микроструктуры оптического импульса и наличие оптического излучения (для пульсара в Крабе) в межимпульсном промежутке.

Разделы

- [2.3.1. Механизмы взрывов сверхновых и возвратная аккреция \(fall-back\)](#)
 - [2.3.2. Одиночные черные дыры](#)
 - [2.3.3. Странные звезды](#)
-

2.3. Другие близкие области исследований

2.3.1. Механизмы взрывов сверхновых и возвратная аккреция (fall-back)

Поскольку НЗ является одним из результатов взрыва сверхновой, то, разумеется, свойства молодых НЗ несут информацию о породивших их сверхновых (см. Имшенник 2000, 1998; Янка и др. 2001).

Примером такой связи является проблема начальных скоростей НЗ (kick) и начальных периодов. В настоящий момент распределение начальных скоростей НЗ неизвестно. Наблюдения радиопульсаров (Лайн, Лоример 1994, Лоример и др. 1997) указывают на высокие средние скорости. Распределение по начальным периодам также неизвестно. Пока достоверно известны начальные периоды для пульсара в Крабе и, возможно, еще для двух пульсаров (см. Каспи, Хельфанд 2002). Как предполагают Спруит и Финней (1998) и Постнов и Прохоров (1998), распределение по начальным периодам может быть связано с процессом взрыва сверхновой и, соответственно, с распределением по скоростям. Однако, в работах этих авторов сделаны выводы *противоречащие* друг другу.

В работах по взрывам коллапсирующих сверхновых (типа II и Ib/c) можно встретить три качественно различных механизма преобразования выделяющейся гравитационной энергии связи коллапсирующего ядра предсверхновой в кинетическую энергию сбрасываемой оболочки.

Первый механизм объединяет классическую модель "отскока" ("bounce") падающих внешних слоев ядра предсверхновой от сформировавшегося и ставшего жестким сверхплотного остатка сверхновой (горячей прото-НЗ) с нейтринными механизмами, в которых образовавшаяся в результате отскока ударная волна в дальнейшем подпитывается нейтринным излучением горячего ядра. Это самая первая и долгое время считавшаяся основной модель взрыва сверхновой. Хотя ранее в рамках этой модели несколько раз удавалось объяснить вспышку сверхновой, последующие более точные исследования отвергали эти найденные возможности (см. Меццакаппа и др. 1998а и ссылки там). На сегодня данный механизм не объясняет сброс оболочки сверхновой ни в сферически симметричном, ни в осесимметричном (с вращением) случаях (Янка и др.2001). Есть надежда, что ситуацию могла бы

исправить крупномасштабная нейтринная конвекция (Херант и др. 1994, Меццакаппа и др. 1998б). В настоящее время в данном направлении ведутся интенсивные исследования (см. например Кифонидис и др. 1999 и ссылки там).

Другой механизм (Имшенник 1992) связан с делением быстровращающегося коллапсирующего ядра звезды на 2 части, по крайней мере одна из которых должна быть нейтронной звездой. Затем части двойного ядра сближаются из-за гравитационного излучения, пока меньшая по массе (и большая по размеру) компонента не заполнит свою полость Роша. Сближение двойного ядра может длиться от нескольких минут до нескольких часов. После этого начинается перетекание вещества до тех пор, пока масса меньшей компоненты не достигнет нижнего предела масс НЗ (около $0.09M_{\odot}$), при котором происходит взрывная денейтронизация маломассивной нейтронной звезды (Блинников и др. 1984). Такое дополнительное выделение энергии, происходящее достаточно далеко от центра коллапсирующей звезды, может эффективно сбросить ее оболочку. Этот механизм может действовать только у наиболее быстро вращающихся предсверхновых. Проблема данного сценария заключена в том, что пока еще никому не удалось воспроизвести деление ядра предсверхновой при коллапсе.

Последний из рассматриваемых нами механизмов взрывов сверхновых - магниторотационный - был предложен Г.С.Бисноватым-Коганом в 1970 г. Идея этого механизма очень проста - сброс оболочки производится магнитным полем быстро вращающейся НЗ. При этом оболочка ускоряется за счет торможения вращения нейтронной звезды. Поскольку на самом деле эта простая идея объединяет в себе генерацию и усиление магнитных полей и сложную трехмерную гидродинамику с сильным влиянием переноса излучения, то реалистичные расчеты данного сценария крайне затруднены. Результаты двумерных расчетов (Арделян и др. 1998, 2000) показывают, что магниторотационный механизм может передать несколько процентов вращательной энергии компактного остатка в кинетическую энергию оболочки. Как показывают упомянутые расчеты, магниторотационный взрыв (стадия на которой происходит существенное ускорение и сброс оболочки) длится 0.01-0.1 с. Однако ему предшествует фаза "накрутки", на которой тороидальное магнитное поле линейно усиливается до критической величины ($\sim 10^{16} - 10^{17}$ Гс) при которой происходит сброс оболочки. Длительность этой стадии зависит от величины

начального магнитного поля НЗ и от скорости ее вращения и может меняться от долей секунды до минут (и даже часов). Для данного механизма требуется достаточно быстрое вращение НЗ (период порядка нескольких миллисекунд), однако не столь быстрое, как в механизме с делением ядра.

При рассмотрении связи НЗ и вспышек сверхновых особенно интересной оказывается проблема fall-back, падения на НЗ вещества остатка сверхновой (Хук, Шевалье 1991). Существует ряд моделей (см. Альпар 2001), объясняющих природу АРП, МПГ, слабых рентгеновских источников в диске Галактики и компактных рентгеновских источников в остатках сверхновых выпадением вещества, выброшенного при взрыве, на поверхность НЗ (см. пункт, посвященный аккреции).

Выпадение вещества на образовавшийся в результате взрыва сверхновой компактный объект рассматривалось уже в начале 70-х годов (Колгейт 1971, Зельдович и др. 1972). В последние годы были получены новые важные результаты (см. Шевалье 1989, Зампьеры и др. 1998). Получены оценки времени, после которого аккреционная светимость образовавшейся черной дыры превосходит другие источники излучения. Мониторинг известных сверхновых позволит в течение нескольких лет проверить эту модель.

2.3.2. Одиночные черные дыры

Аккрецирующие одиночные НЗ могут быть довольно близки по многим параметрам к одиночным аккрецирующим черным дырам (о физике черных дыр см. книгу Новикова, Фролова 1986). Различные аспекты, связанные с аккрецией на одиночные черные дыры звездных масс изучались уже 30 лет назад (см. Шварцман 1971).

Недавно аккреция из МЗС на одиночные черные дыры была рассмотрена Фуджитой и др. (1998) и Аголом и Камионковским (2001). Авторы рассмотрели как обычные черные дыры звездных масс, так и гипотетические объекты, которые могут вносить существенный вклад в темную массу гало нашей Галактики, обнаруженные по эффекту микролинзирования (см. также Агол и др. 2002 об обнаружении кандидатов в черные дыры методом микролинзирования). Используя модель адвекционно-доминированной аккреции, было показано, что черные дыры звездных масс могут в недалеком будущем наблюдаться в рентгеновском, ИК или оптическом диапазонах.

Обнаружение менее массивных объектов гало за счет аккреции маловероятно, однако отмечается вероятность обнаружения гравитационных волн от слияния таких черных дыр, если они образуют достаточно тесные двойные системы.

Балберг и Шапиро (2001) рассчитали темп образования черных дыр после вспышек сверхновых. Используя аналитическую модель изменения аккреционной светимости (за счет fall-back, см. выше) они оценили, что при современных методах наблюдений можно до нескольких "проявлений" черных дыр в год. Т.е., наблюдая кривые блеска сверхновых, можно увидеть как начинает доминировать вклад аккреции в полную светимость сверхновой. Если эти оптимистические оценки оправдаются, то в скором будущем мы сможем непосредственно определить темп рождения черных дыр.

Вероятно существует возможность обнаружить одиночные черные дыры в непосредственной окрестности Солнца, на расстоянии менее 1 кпк. Такая возможность связана с существованием массивных "убегающих" звезд. Эти объекты образуются в результате распада двойных систем. Высокая масса ($> 30 M_{\odot}$) убегающих звезд говорит о том, что образовавшимся в результате взрыва второго компонента компактным объектом является черная дыра (см., однако, статьи Эргмы и ван ден Хевела 1998а,б о массе прародителей НЗ и черных дыр). Таким образом оказывается возможным вычисление приближенных положений близких черных дыр (Попов и др. 2002, Прохоров, Попов 2002). Другая возможность поиска одиночных черных дыр на основе обработки массовой многоцветной фотометрии (обзора SDSS) подробно рассмотрена в работе Чисхолм и др. (2002).

2.3.3. Странные звезды

В ядре НЗ плотность может существенно (в несколько раз) превосходить ядерную. Это создает условия для существования свободных кварков (деконфайнмент). Такая возможность была осознана в начале 70-х годов. Первой работой, посвященной кварковому веществу была статья Бодмер (1971). Первыми работами, посвященными непосредственно кварковым звездам, были статьи Фечнера и Джосса (1978) и Виттена (1984) (детальнее см. обзор Бомбачи 2001).

Странные звезды имеют уравнение состояния, отличное от нормальных НЗ. Это проявляется, в частности, в меньших радиусах при той же массе компактного

объекта. Таким образом измерения массы и радиуса объекта могут позволить определить его природу. С этой точки зрения чрезвычайно актуальны наблюдения одного из семи объектов "великолепной семерки" - RX J1856 (см. Понс и др. 2001). Пачинским (2001) была предложена идея определения массы этого объекта с помощью микролинзирования, которая может быть осуществлена в ближайшие несколько лет (однако, если верна правильная оценка расстояния до этого объекта, сделанная Капланом и др. (2001б), а не оценка Волтера (2001), то идея Пачинского об определении массы НЗ *не сможет быть осуществлена* в ближайшие годы). Более подробное исследование микролинзирования на НЗ было недавно проведено Шварцем и Сейделом (2002). В будущем возможны одновременные измерения массы и радиуса НЗ при наблюдении гравитационных волн (Валлиснери 2002).

В настоящее время существует несколько кандидатов в странные звезды в тесных двойных системах: 4U 1820-30, SAX J1808.4-3658, 4U 1728-34, Her X-1, GRO J1744-28 (см. Бомбачи 2002). Некоторые авторы связывают активность МПГ со странными звездами (см., например, Дар, Де Рухула 2000, Усов 2001). Однако, основная доля исследований, посвященных странным звездам, представлена теоретическими работами. В России теоретические исследования в этой области активно ведутся Д.Н. Воскресенским (МИФИ) и соавторами (см. Блашке и др. 2001 и ссылки там, а также обзор Воскресенского в материалах конференции "Physics of neutron star interiors" 2001).

3. Заключение

В заключение еще раз повторим, что, благодаря прогрессу в наблюдательной астрономии в последние 10 лет, складывается картина, в которой значительная роль принадлежит *радиотихим* НЗ.

По всей видимости значительная доля НЗ не проходит в молодости стадию радиопульсара, или же эта стадия оказывается очень короткой. Около 10% НЗ могут являться магнитарами. Часть НЗ может сохранять существенные остаточные аккреционные диски за счет выпадения вещества из оболочки (fall-back). Этот же процесс может существенно влиять на начальные параметры НЗ.

Картина эволюции НЗ уже не выглядит такой ясной, как 15-20 лет назад, когда пульсар в Крабе считался "идеальной молодой НЗ". Для дальнейшего прогресса необходимы совместные усилия наблюдателей и теоретиков.

При написании этого обзора мы активно использовали материалы сайтов NASA ADS и arXiv.org.

Выражаем глубокую признательность нашим соавторам по публикациям, вошедшим в данный обзор, М. Колпи, Д.Ю. Коненкову, В.М. Липунову, К.А. Постнову, А. Тревесу, Р. Туролле за многочисленные дискуссии в процессе нашей совместной работы.

Рискуя не упомянуть очень многих коллег, мы благодарим В.С. Бескина, Л. Зампьеры, Ю.А. Шибанова, Д.Г. Яковлева за подробные дискуссии, а также С.И. Баструкова, С.В. Боговалова, А.А. Гвоздева, А.Д. Кузьмина, Т.А. Лозинскую, М. Лютикова, Д.К. Надежина, И.С. Огнева, Г.Г. Павлова, А.Ю. Потехина, М.В. Чистякова, Н.И. Шакуру за сделанные комментарии к тексту обзора.

Литература

1. Агол и др. (Agol, E., Kamionkowski, M., Koopmans, L.V.E., Blandford, R.D.) 2002, "Finding black holes with microlensing", [astro-ph/0203257](#)
2. Агол, Камсионковский (Agol, E., Kamionkowski, M.) 2001, "X-rays from isolated black holes in the Milky Way", [astro-ph/0109539](#)
3. Алексеев и др. (Alexeyev, E.N., Alexeyeva, L.N., Volchenko, V.I., Krivosheina, I.V.) 1998, "Characteristics of a neutrino signal from SN 1987A, detected by the Baksan underground scintillation telescope of the Nuclear Research Institute of the Soviet Academy of Sciences", Phys. Lett. B 205, 209
4. Альпар (Alpar, M.A.) 2001, "On young neutron stars as propellers and accretors with conventional magnetic fields", ApJ 544, 1245 ([astro-ph/0005211](#))
5. Альпар и др. (Alpar, M.A., Ankay A., Yazgan, E.) 2001, "Pulsar spindown by a fall-back disk and the \dot{P} - $\dot{\dot{P}}$ diagram", ApJ 557, L61 ([astro-ph/0104287](#))
6. Андерссон и др. (Andersson, N., Jones, D.I., Kokkotas, K.D., Stergioulas, N.) 2000, "R-mode runaway and rapidly rotating neutron stars", ApJ 543, L75 ([astro-ph/0002114](#))
7. Аптекарь и др. (Aptekar, R.L., Frederiks, D.D., Golenetskii, S.V., Il'inskii, V.N., Mazets, E.P., Pal'shin, V.D., Butterworth, P.S., Cline, T.L.) 2001, "Konus catalog of soft gamma repeater activity: 1978 to 2000", ApJ Suppl. 137, 227
8. Арделян и др. (Ardeljan N.V., Bisnovatyi-Kogan G.S., Moiseenko S.G.) 1998, "Magnetorotational mechanism: 2D simulation", in: Proc. IAU Coll. No. 166 "The local bubble and beyond". Eds. D. Breitschwerdt, M.J. Freyberg, and J. Trümper. Lecture Notes in Physics vol.506, p.145

9. Арделян и др. (Ardeljan N.V., Bisnovaty-Kogan G.S., Moiseenko, S.G.) 2000, "Nonstationary magnetorotational processes in a rotating magnetized cloud", *A&A* 355, 1181
10. Аронс (Arons, J.) 2000, "Pulsar death line at an advanced age", in: *Proceedings of IAU Coll. 177, "Pulsar astronomy - 2000 and beyond"*, ASP Conf. Series vol.202 (San Francisco), Eds. M.Kramer, N.Wex, and R. Wielebinski, p.449, ([astro-ph/9911478](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9911478))
11. Балберг, Шапиро (Balberg, S., Shapiro S.L.) 2001, "Rates of observable black hole emergence in supernovae", *ApJ* 556, 944 ([astro-ph/0104215](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0104215))
12. Баринг, Хардинг (Baring, M.G., Harding, A.K.) 1995, "Photon splitting in soft gamma repeaters", *Ap&SS* 231, 77 ([astro-ph/9507059](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9507059))
13. Баструков, С.И., Молодцова, И.В., Подгайный, Д.В., Вебер, Ф., Папоян, В.В., 1999, "Эластодинамические свойства ядерной материи нейтронных звезд", *ЭЧАЯ* 30, 992
14. Баструков и др. (Bastrukov, S., Podgajny, D., Yang, J., Weber, F.) 2002, "Magnetotorsional pulsations of magnetar", in: "Soft Gamma Repeaters: The Rome 2000 Mini-Workshop", *Mem. Soc. Astron. It.*, Eds. M. Feroci and S. Mereghetti
15. Бекер (Becker, W.) 2000, "X-ray emission characteristics of pulsars" in: *Proceedings of IAU 195*, Eds. P.C.H. Martens, S. Tsuruta, M.A. Weber, p.49
16. Бельчинский и др. (Belczynski, K., Bulik, T., Kluzniak, W.) 2002, "Population synthesis of neutron stars, strange (quark) stars and black holes", [astro-ph/0202186](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0202186)
17. Бескин, В.С., 1993, "Влияние эффектов ОТО на электродинамику пульсаров", *ПАЖ* 16, 665
18. Бескин и др. (Beskin, V.S., Gurevich, A.V., Istomin, Ya.N.) 1993, "Physics of pulsar magnetosphere", Cambridge University Press
19. Бескин, В.С., 1999, "Радиопульсары", *УФН* 169 N11, 1169
20. Бескин, Неустроев (Beskin, G. M., Neustroev, V. V.) 2001, "Spectroscopy of the Crab pulsar", *A&A* 374, 584
21. Биньями, Каравео (Bignami, G.F., Caraveo, P.A.) 1996, "Geminga, its fenomenology, its fraternity and its physics", *ARAA* 34, 331
22. Бионта и др. (Bionta, R.M., Blewitt, G., Bratton, C.B., Caspere, D., Ciocio, A.) 1987, "Observation of a neutrino burst in coincidence with supernova 1987A in the Large Magellanic Cloud", *Phys. Rev. Lett.* 58, 1494
23. Бисноватый-Коган, Г.С., 1970, "О механизме взрыва вращающейся звезды как сверхновой", *АЖ* 47, 813
24. Бисноватый-Коган, Блинников (Bisnovaty-Kogan, G. S., Blinnikov, S. I.) 1980, "Spherical accretion on to compact X-ray sources with preheating - No thermal limit for the luminosity", *MNRAS* 191, 711
25. Блаез, Мадау (Blaes, O., Madau, P.) 1993, "Can we observe accreting, isolated neutron stars?", *ApJ* 403, 690
26. Блаез, Раджагопал (Blaes, O., Rajagopal, M.) 1991, "The statistics of slow interstellar accretion onto neutron stars", *ApJ* 381, 210
27. Блаез и др. (Blaes, O., Warren, O., Madau, P.) 1995, "Accreting, isolated neutron stars. III. Preheating of infalling gas and cometary HII regions", *ApJ* 454, 370
28. Блашке и др. (Blaschke, D., Grigorian, H., Voskresensky, D. N.) 2001, "Cooling of hybrid neutron stars and hypothetical self-bound objects with superconducting quark cores", *A&A* 368, 561
29. Блинников С.И., Новиков И.Д., Переводчикова Т.В., Полнарев А.Г., 1984, "О возможности взрыва нейтронной звезды в тесной двойной системе", *ПАЖ* 10, 422

30. Блинныеков, С.И., Лозинская, Т.А., Чугай, Н.Н., 1987, "Сверхновые звезды и остатки вспышек сверхновых", в сборнике Итоги науки и техники. Астрономия. Том 32, ред. Р.А. Сюняев, с.142
31. Боговалов (Bogovalov, S.V.) 2001, "Acceleration and collimation of relativistic plasmas ejected by fast rotators", A&A 371, 1155 ([astro-ph/0102415](#))
32. Боговалов (Bogovalov, S.V.) 1999, "On the physics of cold MHD winds from oblique rotators", A&A 349, 1017 ([astro-ph/9907051](#))
33. Бодмер (Bodmer, A.R.) 1971, "Collapsed Nuclei", Phys. Rev. D 4, 1601
34. Бомбачи (Bombaci, I.) 2001, "Strange quark stars: structural properties and possible signatures for their existence", in: "Physics of neutron star interiors", Eds. D. Blaschke, N.K. Glendenning and A. Sedrakian (Springer), Lecture Notes in Physics, vol.578, p.364
35. Бомбачи (Bombaci, I.) 2002, "Strange star candidates", [astro-ph/0201369](#)
36. Бонди, Хойл (Bondi, H., Hoyle, F.) 1944, "On the mechanism of accretion by stars", MNRAS 104, 273
37. Бочкарев, Н.Г., 1992, "Основы физики межзвездной среды", Москва, Издательство МГУ
38. Брагинский, В.Б., 2000, "Гравитационно-волновая астрономия: новые методы измерений", УФН 170, 743
39. Бразьер, Джонстон (Brazier, K.T.S., Johnston, S.) 1999, "The implications of radio-quiet neutron stars", MNRAS, 305, 671
40. Браун (Braun, R.) 1996, "The square kilometer array interferometer", in: "Continuing adventure in radio astronomy", Eds. E. Raimond and R. Genee, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Astrophysics and Space Science Library (ASSL) vol.208, p.167
41. Браун и др. (Braun, R., Goss, W.M., Lyne, A.G.) 1989, "Three fields containing young pulsars: the observable lifetime of supernova remnants", ApJ 340, 355
42. Брискен и др. (Brisken, W.F., Benson, J.M., Goss, W.M., Thorsett, S.E.) 2002, "VLBA Measurement of Nine Pulsar Parallaxes", [astro-ph/0204105](#)
43. Бхаттачарья и др. (Bhattacharya, D., Wijers, R.A.M.J., Hartman, J.W., Verbunt, F.) 1992, "On the decay of the magnetic fields of single radio pulsars", A&A 254, 198
44. Валлиснери (Vallisneri, M.) 2002, "What can we learn about neutron stars from gravity-wave observations?", [gr-qc/0202037](#)
45. Ванг (Wang, J.) 1997, "Evidence for Magnetic Field Decay in RX J0720.4-3125", ApJ 486, L119
46. ван дер Сваллу, Ву (van der Swallow, E., Wu, Y.) 2001, "Inferring initial spin periods for neutron stars in composite remnants", ApJ 555, L49 ([astro-ph/0104390](#))
47. ван Керквийк, Кулкарни (van Kerkwijk, M.H., Kulkarni, S.R.) 2001, "An unusual $H\alpha$ nebula around the nearby neutron star RX J1856.5-3754", A&A 380, 221
48. ван Парадайз и др. (van Paradijs, J., Таам, R.E., van den Heuvel, E.P.J.) 1995, "On the nature of the 'anomalous' 6-s X-ray pulsars", A&A 299, L41
49. Ватс и др. (Vats, H.O., Deshpande, M.R., Shah, C. et al.) 1997, "A possible detection of radio pulses from Geminga at 103 MHz", MNRAS 302, L65
50. Вентура, Потехин (Ventura, J., Potekhin, A.Y.) 2001, "Neutron star envelopes and thermal radiation from the magnetic surface", in "The neutron star - black hole connection", NATO ASI Ser. C, vol.567, Kluwer, Dordrecht, p.393 ([astro-ph/0104003](#))
51. Вербунт и др. (Verbunt, F., Hartman, J.W., Bhattacharya, D., Wijers, R.A.M.J., Nelemans, G.) 1999, "Applications of radio pulsar population synthesis", in: "Pulsar timing, general relativity and the internal structure of neutron stars", Eds. Z. Arzoumanian, F. Van der Hooft,

- E.P.J. van den Heuvel (Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam), p.215
52. Вербунт (Verbunt, F.) 2001, "A census with ROSAT of low-luminosity X-ray sources in globular clusters", A&A 368, 137 ([astro-ph/0012261](#))
 53. "Взаимосвязь между нейтронными звездами и остатками сверхновых" ("The relationship between neutron stars and supernova remnants"), Mem. Soc. Astr. It. vol.69, N4 1998, Eds. R. Bandiera, E. Masini, F. Pacini, M. Salvati, L. Woltjer
 54. Вилмс (Wilms, J., Allen, A., McCray, R.) 2000, "On the absorption of X-rays in the interstellar medium" ApJ 542, 914 ([astro-ph/0008425](#))
 55. Винк и др. (Vink, J., Bocchino, F., Damiani, F., Kaastra, J.S.) 2000, "An unresolved x-ray source inside the supernova remnant RCW 86", A&A 362, 711
 56. Виттен (Witten, E.) 1984, "Cosmic separation of phases", Phys. Rev. D 30, 272
 57. Волтер (Walter, F.) 2001, "The proper motion, parallax, and origin of the isolated neutron star RX J185635-3754", ApJ 549, 443
 58. Волтер, Латтимер (Walter, F.M., Lattimer, J.M.) 2002, "A revised parallax and its implications for RX J185635-3754", [astro-ph/0204199](#)
 59. Воскресенский Д.Н., Сенаторов А.В., 1986, "Излучение нейтрино нейтронными звездами", ЖЭТФ 90, 1505
 60. Воскресенский Д.Н., Сенаторов А.В., 1987, Ядерная физ. 45, 657
 61. Гавриил и др. (Gavriil, F.P., Kaspi, V.M., Chakrabarty, D.) 2001, "Long-term monitoring of anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/0111562](#)
 62. Гавриил, Каспи (Gavriil, F.P., Kaspi, V.M.) 2002, "Long-term RXTE monitoring of anomalous x-ray pulsars", ApJ 567, 1067 ([astro-ph/0107422](#))
 63. Гальперн, Ванг (Halpern, J.P., Wang, F.Y.-H.) 1997, "A broadband X-Ray study of the Geminga pulsar", ApJ 477, 905
 64. Гамов, Шенберг (Gamow, G., Schoenberg, M.) 1941, "Neutrino theory of stellar collapse", Phys. Rev. 59, 539
 65. Гансик и др. (Gaensicke, B.T., Braje, T.M., Romani, R.W.) 2002, "Thermal emission from low-field neutron stars", A&A 386, 1001([astro-ph/0110130](#))
 66. Генслер, Джонстон (Gaensler, B.M., Johnston, S.) 1995a, "The case for associations between old pulsars and supernova remnants", MNRAS 275, L73
 67. Генслер, Джонстон (Gaensler, B.M., Johnston, S.) 1995b, "Do we expect to see young pulsars outside their parent shells?", Publ. Astron. Soc. Aust. 12, 76
 68. Генслер, Джонстон (Gaensler, B.M., Johnston, S.) 1995в, "The pulsar/supernova remnant connection", MNRAS 277, 1243
 69. Генслер, Фрейл (Gaensler, B.M., Frail, D.A.) 2000, "A large age for the pulsar B1757-24 from an upper limit on its proper motion", Nature 406, 158
 70. Генслер и др. (Gaensler, B.M., Gotthelf, E.V., Vasisht, G.) 1999, "A supernova remnant coincident with the slow X-ray pulsar AX J1845-0258", ApJ 526, L37 ([astro-ph/9909400](#))
 71. Гепперт и др. (Geppert, U., Page, D., Zanninias, T.) 2000, "Magnetic field decay in neutron stars. Analysis of General Relativistic Effects" Phys. Rev. D 61, 3004 ([astro-ph/0005313](#)),
 72. Гепперт и др. (Geppert, U., Urpin, V., Kononov, D.) 1996, "Wind accretion and magnetorotational evolution of neutron stars in binaries.", A&A 307, 807
 73. Гнедин и др. (Gnedin, O.Y., Yakovlev, D.G., Potekhin, A.Y.) 2001, "Thermal relaxation in young neutron stars", MNRAS 324, 725
 74. Голден и др. (Golden, A., Shearer, A., Redfern, R. M., Beskin, G. M., Neizvestny, S. I., Neustroev, V. V., Plokhhotnichenko, V. L., Cullum, M.) 2000, "High speed phase-resolved 2-d UVB photometry of the Crab pulsar", A&A 363, 617

75. Голдрайх, Джулиан (Goldreich, P., Julian, W.H.) 1969, "Pulsar electrodynamics", ApJ 157, 869
76. Горбачкий, В.Г., 1977, "Космическая газодинамика" М. Наука
77. Готтхелф и др. (Gotthelf, E.V., Vasisht, G., Dotani, T.) 1999, "On the spin history of the X-ray pulsar Kes 73: further evidence for an ultramagnetized neutron star", ApJ 522, L49
78. Готтхелф, Васишт (Gotthelf, E.V., Vasisht, G.) 2000, "A new view on young pulsars in supernova remnants: slow, radio-quiet & X-ray bright", in: Proceedings of IAU Coll. 177, "Pulsar astronomy - 2000 and beyond", ASP Conf. Series vol.202 (San Francisco), Eds. M. Kramer, N. Wex, N. Wielebinski, p.699
79. Готтхелф и др. (Gotthelf, E.V., Vasisht, G., Boylan-Kolchin, M., Torii, K.) 2000, "A 700 year-old pulsar in supernova remnant Kes 75", ApJ 542, L37 ([astro-ph/0008097](#))
80. Готтхелф и др. (E. V. Gotthelf, F. P. Gavriil, V. M. Kaspi, G. Vasisht, D. Chakrabarty) 2001, "15 years going steady - timing the magnetar 1E 1841-045", [astro-ph/0112019](#)
81. Гренье (I.A. Grenier) 2000, "Gamma-ray sources as relics of recent supernovae in the nearby Gould Belt", A&A, 364, L93
82. Гренье, Перро (I.A. Grenier, C.A. Perrot) 2001, "Neutron star contribution to the Galactic unidentified EGRET sources", "Gamma-2001" Eds. S. Ritz, N. Gehrels, C.R. Shrader, Melville, New York, AIP conferences, 2001, vol.587, p.649
83. Грингел и др. (Gringel, W., Barnstedt, J., de Boer, K. S., Grewing, M., Kappelman, N., Richter, P.) 2000, "ORFEUS II Echelle spectra: molecular hydrogen at high velocities toward HD 93521", A&A 358, L37
84. Грищук, Л.П., Липунов, В.М., Постнов, К.А., Прохоров, М.Е., Сатьяпракаш, Б.С., 2001, "Гравитационно-волновая астрономия: в ожидание первого зарегистрированного источника", УФН 171, 3
85. Д'Амико и др. (D'Amico, N., Lyne, A.G., Manchester, R.N., Camilo, F.M., Kaspi, V.M., Bell, J., Stairs, I.H., Crawford, F., Morris, D., Possenti, A.) 1999, "The Parkes multibeam pulsar survey: preliminary results", [astro-ph/9911482](#)
86. Дар, Де Рухула (Dar, A., De Rujula) 2000, "Soft gamma ray repeaters and anomalous X-ray pulsars: magnetars or young quark stars?", Res. Persp. Part. Phys., vol.XVII, p.13 ([astro-ph/0002014](#))
87. Джиозотто и др. (Giazotto, A., Bonazzola, S., Gourgoulhon, E.) 1997, "Gravitational waves emitted by an ensemble of rotating neutron stars", Phys. Rev. D 55 2014
88. Джюэт и др. (Juett, A.M., Marshall, H.L., Chakrabarty, D., Schulz, N., S.) 2002, "Chandra high-resolution spectrum of the anomalous X-ray pulsar 4U 0142+61", [astro-ph/0202304](#)
89. Дзане и др. (Zane, S., Turolla, R., Treves, A.) 1996, "Old isolated neutron stars: the diffuse X-ray emission from the galactic center", ApJ 471, 248
90. Дзане и др. (Zane, S., Turolla, R., Zampieri, L., Colpi, M., Treves, A.) 1995, "Old isolated neutron stars: contribution to the soft X-ray background in the 0.5-2 keV band", ApJ 451, 739
91. Дзане и др. (Zane, S., Turolla, R., Stella, L., Treves, A.) 2001, "Proton cyclotron features in thermal spectra of ultra-magnetized neutron stars", ApJ 560, 384 ([astro-ph/0103316](#))
92. Дзане и др. (Zane, S. et al.) 2002, "Timing analysis of the isolated neutron star RX J0720.4-3125", MNRAS in press ([astro-ph/0203105](#))
93. Дрейк и др. (Drake, J.J., Marshall, H.L., Dreizler, S., Freeman, P.E., Fruscione, A., Juda, M., Kashyap, V., Nicastro, F., Pease, D.O., Wargelin, B.J., Werner, K.) 2002, "Is RX J18563.5-3754 a Quark Star?", [astro-ph/0204159](#)
94. Дункан (Duncan, R.C.) 2000, "Physics in ultra-strong magnetic fields", in: 5th Huntsville Symposium, Eds. R.M. Kippen, R.S. Mallozzi, G.J. Fishman. AIP Conference Series, American Institute of Physics, Melville, New York, vol.526, p.830 ([astro-ph/0002442](#))

95. Дункан (Duncan, R.C.) 2001, "Nature, nurture or not sure? A debate about SGRs and AXPs", [astro-ph/0106041](#)
96. Ждуник и др. (Zdunik, J.L., Haensel, P., Paczynski, B., Miralda-Escude J.) 1992, "Thermal structure of neutron stars with very low accretion rates", *ApJ* 384, 129
97. Жигулев, В.Н., Ромашевский, Е.А., 1959, "О взаимодействии потоков проводящей среды с магнитным полем Земли", *ДАН* 127, 1001
98. Завлин, Павлов (Zavlin, V.E., Pavlov, G.G.) 1998, "Soft X-rays from polar caps of the millisecond pulsar J0437-4715", *A&A* 329, 583
99. Завлин, Павлов (Zavlin, V.E., Pavlov, G.G.) 1999, private communication
100. Завлин и др. (Zavlin, V.E., Pavlov, G.G., Shibanov, Yu.A.) 1996, "Model neutron star atmospheres with low magnetic fields. I. Atmospheres in radiative equilibrium", *A&A* 315, 141
101. Завлин и др. (Zavlin, V.E., Pavlov, G.G., Trumper, J.) 1998, "The neutron star in the supernova remnant PKS 1209-52", *A&A* 331, 821
102. Завлин и др. (Zavlin, V.E., Trumper, J., Pavlov, G.G.) 1999, "X-ray emission from radio-quiet neutron star in Puppis A", *ApJ* 525, 959
103. Зампьеро и др. (Zampieri, L., Turolla, R., Zane, S., Treves, A.) 1995, "X-ray spectra from neutron stars accreting at low rates", *ApJ*, 439, 849
104. Зампьеро и др. (Zampieri, L., Campana, S., Turolla, R., Chierigato, M., Falomo, R., Fugazza, D., Moretti, A., Treves, A.) 2001, "1RXS J214303.7+065419/RBS 1774: a new isolated neutron star candidate", *A&A* 378, L5 ([astro-ph/0108456](#))
105. Зампьеро и др. (Zampieri, L., Colpi, M., Shapiro, S. L., Wasserman, I.) 1998, "Supernova fallback and the emergence of a black hole", *ApJ* 505, 876
106. Зельдович, Я.Б., Иванова, Л.Н., Надежин, Д.К., 1972, "Нестационарная гидродинамическая аккреция на нейтронную звезду", *АЖ* 49, 253
107. Зельдович, Я.Б., Шакура, Н.И., 1969, "Рентгеновское излучение сопровождающее аккрецию газа на нейтронную звезду", *АЖ* 46, 225
108. Израэл и др. (Israel, G.L., Mereghetti, S., Stella, L.) 2001, "Observations of anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/0111093](#)
109. Илларионов, Сюняев (Illarionov, A.F., Syunyaev, R.A.) 1975, "Why the number of Galactic X-ray stars is so small?", *A&A* 39, 185
110. Имшенник В.С., 1992, "Возможный сценарий взрыва сверхновой в условиях гравитационного коллапса массивного звездного ядра", *ПАЖ* 18, 489
111. Имшенник, В.С., 2000, "Вспышки сверхновых и историческая хронология", *УФН* 170, 553
112. Имшенник (Imshennik, V.S.) 1998, "Models of supernovae", in: "Modern problems in stellar evolution", Proceedings of the International Conference in honour of Professor A.G. Masevitch's 80th birthday (Moscow: GEOS), Ed. D.S. Wiebe, p.163
113. Имшенник, В.С., Надежин, Д.К., 1988, "Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке: наблюдения и теория", *УФН* 156, 561
114. Камило и др. (Camilo, F., Bell, J.F., Manchester, R.N., Lyne, A.G., Possenti, A., Kramer, M., Kaspi, V.M., Stairs, I.H., D'Amico, N., Hobbs, G., Gotthelf, E.V., Gaensler, B.M.) 2001, "PSR J1016-5857: a young radio pulsar with possible supernova remnant, X-ray, and gamma-ray associations", *ApJ* 557, L51 ([astro-ph/0107180](#))
115. Каминкер, Хенсел (Kaminker, A.D., Haensel, P.) 1999, "Neutrino emission due to electron bremsstrahlung in superfluid neutron-star cores", *Acta. Phys. Polonica* 30, 1125 ([astro-ph/9908249](#))
116. Каминкер и др. (Kaminker, A.D., Haensel, P., Yakovlev, D.G.) 2001, "Nucleon superfluidity vs observations of cooling neutron stars", *A&A* 373, L17 ([astro-ph/0105047](#))

117. Каминкер и др. (Kaminker, A.D., Yakovlev, D.G., Gnedin, Y.O.) 2002, "Three types of cooling superfluid neutron stars: theory and observations", A&A 383, 1076
118. Каплан и др. (Kaplan, D.L., Kulkarni, S.R., van Kerkwijk, M.H., Rothschild, R., Lingenfelter, R.L., Marsden, D., Danner, D., Murakami, T.) 2001a, "HST observations of SGR 0526-66: new constraints on accretion and magnetar models", ApJ 556, 270 ([astro-ph/0103179](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0103179))
119. Каплан и др. (Kaplan, D.L., van Kerkwijk, M.H., Anderson, J.) 2001b, "The parallax and proper motion of RX J1856.5-3754 revisited", [astro-ph/0111174](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0111174)
120. Каравео (Caraveo, P.A.) 2000, "A sociological study of the optically emitting isolated neutron stars", in: Proceedings of IAU Coll. 177, "Pulsar astronomy - 2000 and beyond", ASP Conf. Series vol.202 (San Francisco), Eds. M.Kramer, N.Wex, and R. Wielebinski, p.289
121. Каравео и др. (Caraveo, P.A., Bignami, G.F., Trumper, J.E.) 1996, "Radio-silent isolated neutron stars as a new astronomical reality", Astron. Astrophys. Rev. 7, 209
122. Картер (Carter, B.) 2000, "Superconducting superfluids in neutron stars", Grav. Cosmol. Suppl. 6, 204 ([astro-ph/0010109](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0010109))
123. Каспи (Kaspi, V.M.) 1996, "Pulsar/supernova remnant associations", in: "Pulsars: problems and progress", Eds. S. Johnston, M. Bailes, M. Walker, ASP Conference Series vol.105, p.375
124. Каспи, Хелфанд (Kaspi, V.M., Helfand, D.J.) 2002, "Constraining the birth events of neutron stars", [astro-ph/0201183](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0201183)
125. Каспи и др. (Kaspi, V.M., Crawford, F., Manchester, R.N., Lyne, A.G., Camilo, F., D'Amico, N., Gaensler, B.M.) 1998, "The 69ms radio pulsar near the supernova remnant RCW 103", ApJ 503, L161 ([astro-ph/9806328](http://arxiv.org/abs/astro-ph/9806328))
126. Кифонидис и др. (Kifonidis K., Plewa T., Janka H.-Th., Muller E.) 1999, in: "Astronomy with radioactivities", Eds. R. Diehl and D. Hartmann (Garching: Max-Planck-Institut fur Extraterrestrische Physik) p.141 (<http://www.gamma.mpe-garching.mpg.de/mpeteam/workshop/proceedings.html>)
127. Клозе и др. (Klose, S., Stecklum, B., Hartmann, D.H., Vrba, F.J., Henden, A.A., Vacmann, A.) 2002, "Mid-infrared observations of the SGR 1900+14 error box", [astro-ph/0201093](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0201093)
128. Клужняк (Kluźniak, W.) 2000, "Neutron stars and strong-field effects of general relativity", in: "From the Sun to the Great Attractor", Eds. D.Page, J.G.Hirsch (Heidelberg, Springer), p.173 ([astro-ph/0012548](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0012548))
129. Колгейт (Colgate, S. A.) 1971, "Neutron-star formation, thermonuclear supernovae, and heavy-element reimplosion", ApJ 163, 221
130. Колпи и др. (Colpi, M, Campana, S., Treves, A.) 1993, "The observability of old isolated neutron stars with ROSAT. 2: Molecular clouds and deep fields", A&A 278, 161
131. Колпи и др. (Colpi, M., Turolla, R., Zane, S., Treves, A.) 1998, "The elusiveness of old neutron stars", ApJ 501, 252
132. Колпи и др. (Colpi, M., Geppert, U., Page, D.) 2000, "Period clustering of the anomalous X-Ray pulsars and magnetic field decay in magnetars", ApJ 529, L29
133. Коненков, Д.Ю., Попов, С.Б. 1997, "RX J0720.4-3125 как возможный пример затухания магнитного поля нейтронных звезд", ПАЖ, 23, 569
134. Коненков, Гепперт (Konenkov, D.Yu., Geppert, U.) 2001a, "The evolution of core and surface magnetic field in isolated neutron stars", MNRAS 325, 426 ([astro-ph/0103060](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0103060))
135. Коненков, Гепперт (Konenkov, D.Yu., Geppert, U.) 2001b, "On the nature of the residual magnetic fields in millisecond pulsars", A&A 372, 583

136. Коненков, Гепперт (Konenkov, D.Yu., Geppert, U.) 2000, "The effect of the neutron-star crust on the evolution of a core magnetic field", MNRAS 313, 66
137. Копцевич и др. (Koptsevich, A. B., Pavlov, G. G., Zharikov, S. V., Sokolov, V. V., Shibanov, Yu. A., Kurt, V. G.) 2001, "Optical photometry of the PSR B0656+14 and its neighborhood",
138. Кордес (Cordes, J.M.) 1998, "Kinematics of neutron star populations", in: "Neutron Stars and Pulsars", Eds. N. Shibasaki, N. Kawai, S. Shibata, T. Kifune (Universal Academy Press, Tokyo), p.19
139. Кордес, Чернофф (Cordes, J.M., Chernoff, D.F.) 1997, "Neutron star population dynamics. I. Millisecond pulsars", ApJ 482, 971
140. Кордес, Чернофф (Cordes, J.M., Chernoff, D.F.) 1998, "Neutron star population dynamics. II. Three-dimensional space velocities of young pulsars", ApJ 505, 315
141. Крейг и др. (Craig, W.W., Hailey, Ch.J., Pisarski, R.L.) 1997, "ROSAT observations of the supernova remnant CTB ", ApJ 488, 307
142. Кузьмин, А.Д., Лосовский, Б.Я. 1997, "Обнаружение радиопульсара PSR J0633+1746 в Геминге", ПАЖ 23, 323
143. Курт и др. (Kurt, V. G., Komberg, B. V., Sokolov, V. V., Zharykov, S. V.) 1997, "Optical observations of the nearby isolated pulsar PSR 0656+14 at the SAO 6-meter telescope", Ap&SS. 252, 451
144. Лайн, Лоример (Lyne, A.G., Lorimer, D.R.) 1994, "High birth velocities of radio pulsars", Nature, 369, 127
145. Лайн и др. (Lyne, A.G., Pritchard, R.S., Graham-Smith, F., Camilo, F.) 1996, "Very low braking index for the Vela pulsar", Nature 381, 497
146. Ланглуа (Langlois, D.) 2000, "Superfluidity in relativistic neutron stars", [astro-ph/0008161](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0008161)
147. Латтимер и др. (Lattimer, J.M., Prakash, M., Pethick, C.J., Haensel, P.) 1991, "Direct URCA process in neutron stars", Phys. Rev. Lett. 66, 2701
148. Латтимер, Пракаш (Lattimer, J.M., Prakash, M.) 2001, "Neutron star structure and the equation of state", ApJ 550, 426
149. Левенфиш, К.П., Шибанов, Ю.А., Яковлев, Д.Г. 1999, "Простая модель остывающей нейтронной звезды со сверхтекучим ядром: сравнение с наблюдениями", ПАЖ 25, 491 ([astro-ph/9903098](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9903098))
150. Ливио и др. (Livio, M., Xu, C., Frank, J.) 1998, "On the magnetic field evolution in isolated neutron stars", ApJ 492, 298
151. Линдблом (Lindblom, L.) 2001, "Neutron stars pulsations and instabilities", [astro-ph/0101136](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0101136)
152. Липунов, В.М., 1987, "Астрофизика нейтронных звезд", М., Наука (English translation: Lipunov, V.M., 1992, "Astrophysics of neutron stars", Springer-Verlag, Berlin)
153. Липунов и др. (Lipunov, V.M., Postnov, K.A., Prokhorov, M.E.) 1996 "The Scenario Machine: binary star population synthesis" Astrophysics and space physics reviews, Ed. R.A. Sunyaev, vol.9 part 4
154. Липунов, В.М., Попов, С.Б. 1995, "Эволюция периодов изолированных нейтронных звезд: теорема о замедлении", АЖ, 71, 711
155. Лозинская, Т.А., 1986, "Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с газом Галактики", М. Наука
156. Лоример и др. (Lorimer, D.R., Bailes, M. Harrison, P.A.) 1997, "Pulsar statistics - IV. Pulsar velocities", MNRAS 289, 592
157. Лоример и др. (Lorimer, D.R., Lyne, A.G., Camilo, F.) 1998, "A search for pulsars in supernova remnants", A&A 331, 1002

158. Лоример и др. (Lorimer, D.R., Kramer, M., Muller, P., Wex, N. Jessner, A., Lange, C., Wielebinski, R.) 2000, "A 1400-hz pilot search for young pulsars", A&A 358, 169 ([astro-ph/9910569](#))
159. Любарский (Lyubarsky, Yu.E.) 1995, "Physics of pulsars", Astrophysics and space physics reviews, Ed. R.A. Sunyaev, vol.9, part 2
160. Лютиков и др. (Lyutikov, M., Thompson, C., Kulkarni, S.R.) 2001, "Magnetospheric structure and non-thermal emission of AXP's and SGRs", [astro-ph/0111319](#)
161. Мадау, Блаез (Madau, P., Blaes, O.) 1994, "Constraints on accreting, isolated neutron stars from the ROSAT and EUVE surveys", ApJ, 423, 748
162. Мазец, Е.П., Голенецкий, С.В., Гурьян, Ю.А., 1979, "Мягкие гамма-всплески от источника в 1900+14", ПАЖ 5, 641
163. Мазец, Е.П., Голенецкий, С.В., 1987, "Наблюдения космических гамма-всплесков", в сборнике Итоги науки и техники. Астрономия. Том 32, ред. Р.А. Сюняев, с.16
164. Майкель (Michel, F.C.) 1991, "Theory of neutron star magnetospheres", The University of Chicago Press
165. Малов, И.Ф., 2001, "О синхротронных спектрах короткопериодических пульсаров", АЖ 78, 165
166. Малофеев, Малов (Malofeev, V.M., Malov, O.I.) 1997, "Detection of Geminga as a radio pulsar", Nature 389, 697
167. Малофеев, В.М., Малов, О.И., 2000, "Необычный профиль радиопульсара Геминга", АЖ 77, 45
168. Марсден и др. (Marsden, D., Lingenfelter, R., Rothschild, R., Higdon, J.) 1999, "Environmental influences in SGRs and AXP's", in: 5th Huntsville Symposium, Eds. R.M. Kippen, R.S. Mallozzi, G.J. Fishman, AIP Conference Series (American Institute of Physics, Melville, New York), vol.526, p.847 ([astro-ph/9912315](#))
169. Марсден и др. (Marsden, D., Lingenfelter, R.E., Rothschild, R.E.) 2000, "Does pulsar B1757-24 have a fallback disk?", ApJ 547, L45
170. Марсден, Вайт (Marsden, D., White, N.E.) 2001, "Correlations between spectral properties and spin-down rate in soft gamma-ray repeaters and anomalous X-ray pulsars", ApJ 551, L155 ([astro-ph/0102375](#))
171. Маршалл, Шульц (Marshall, H.L., Schulz, N.S.) 2002, "Using high resolution X-ray spectrum of PSR B0656+14 to constrain the chemical composition of the neutron star atmosphere", [astro-ph/0203463](#)
172. Материалы колл. МАС 177 (Proceedings of IAU Coll. 177), "Pulsar astronomy - 2000 and beyond", 2000, ASP Conf. Series vol.202 (San Francisco), Eds. M. Kramer, N. Wex, N. Wielebinski
173. Мену и др. (Menou, K., Perna, R., Hernquist, L.) 2001a, "Stability and evolution of supernova fallback disks", ApJ 559, 1032 ([astro-ph/0102478](#))
174. Мену и др. (Menou, K., Perna, R., Hernquist, L.) 2001b, "Accretion-assisted spindown of young radio pulsars", [astro-ph/0103326](#)
175. Мерегетти и др. (Mereghetti, S., Bandiera, R., Bocchino, F., Israel, G.L.) 2002a, "BeppoSAX observations of the young pulsar in the Kes 75 supernova remnant", [astro-ph/0204050](#)
176. Мерегетти и др. (Mereghetti, S., Chiarlone, L., Israel, G.L., Stella, L.) 2002b, "The anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/0205122](#)
177. Мерегетти (Mereghetti, S.) 1999, "The anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/9911252](#)
178. Мерегетти (Mereghetti, S.) 2000, "The X-ray sources at the center of the supernova remnant RX J0852.0-4622", ApJ 548, L213 ([astro-ph/0011554](#))

179. Мерегетти, Стелла (Mereghetti, S., Stella, L.) 1995, "The very low mass X-ray binary pulsars: A new class of sources?", *ApJ* 442, L17
180. Мерегетти и др. (Mereghetti, S., Bignami, G.F., Caraveo, P.A.) 1996, "The X-ray source at the center of G296.5+10.0 as a young isolated neutron star", *ApJ* 464, 842
181. Меццакаппа и др. (Mezzacappa A., Calder A. C., Bruenn S. W., Blondin J. M., Guidry M. W., Strayer M. R., Umar A. S.) 1998a, "The interplay between proto-neutron star convection and neutrino transport in core-collapse supernovae", *ApJ* 493, 848
182. Меццакаппа и др. (Mezzacappa A., Calder A. C., Bruenn S. W., Blondin J. M., Guidry M. W., Strayer M. R., Umar A. S.) 1998b, "An investigation of neutrino-driven convection and the core collapse supernova mechanism using multigroup neutrino transport", *ApJ* 495, 911
183. Мирабал, Гальперн (Mirabal, N., Halpern, J.P.) 2001, "A neutron star identification for the high-energy gamma-ray source 3EG J1835+5918 detected in the ROSAT all-sky survey", *ApJ* 547, L137
184. Митра и др. (Mitra, D., Konar, S., Bhattacharya, D., Hoensbroech, A.V., Seiradakis, J.H., Wielebinski, R.) 2000, "Evolution of multipolar magnetic fields in isolated neutron stars and its effect on pulsar radio emission" in: *Proceedings of IAU Coll. 177, "Pulsar astronomy - 2000 and beyond"*, ASP Conf. Series vol.202 (San Francisco), Eds. M. Kramer, N. Wex, N. Wielebinski, p.265
185. Михеев (Mikheev, N.V.) 2000, "Neutrino processes in a strong magnetic field and plasma", in: "Strong magnetic fields in neutrino astrophysics", Eds. A.V. Kuznetsov, N.V. Mikheev, A.Ya. Parkhomenko, Yaroslavl, p.26
186. Мотч (Motch, C.) 2000, "Isolated neutron stars discovered by ROSAT", astro-ph/0008485
187. Муслимов, А.Г., Цыган, А.И., 1985, "Сверхпроводимость и сверхтекучесть нейтронных звезд и затухание магнитных полей пульсаров", *ПАЖ* 11, 196
188. Муслимов, А.Г., Цыган, А.И., 1990, "Влияние эффектов ОТО на электродинамические процессы вблизи магнитных полюсов нейтронных звезд", *АЖ* 67, 263
189. Муслимов, Цыган (Muslimov, A.G., Tsygan, A.I.) 1992, "General relativistic electric potential drops above pulsar polar caps", *MNRAS* 255, 61
190. Мэннинг и др. (Manning, R.A., Jeffries, R.D., Willmore A.P.) 1996, "Are there any isolated old neutron stars in the ROSAT Wide Field Camera survey?", *MNRAS* 278, 577
191. Мюррей и др. (Murray, S.S., Slane, P.O., Seward, F.D., Ransom, S.M., Gaensler, B.M.) 2002, "Discovery of X-Ray Pulsations from the Compact Central Source in the Supernova Remnant 3C 58", *ApJ* 568, 226 (astro-ph/0108489)
192. Нараян, Шаудт (Narayan, R., Schaudt, K.J.) 1988, "Pulsars and supernova remnants", *ApJ* 325, L43
193. "Нейтронные звезды и пульсары" ("Neutron stars and pulsars") 1998, *Frontiers science series N24*, Universal Academy Press (Tokyo), Eds. N. Shibasaki, N. Kawai, S. Shibata, T. Kifune
194. Новиков, И.Д., Фролов, В.П., 1986, "Физика черных дыр", Москва, Наука
195. Нойхойзер, Трюмпер (Neuhauser, R., Trumper, J.E.) 1999, "On the number of accreting and cooling isolated neutron stars detectable with the ROSAT All-Sky Survey", *A&A*, 343, 151
196. Огельман (Ogelman, H.) 1995, "X-Ray observations of cooling neutron stars", in: "Lives of neutron stars", eds. M.A. Alpar, U. Kiziloglu, J. van Paradjis, NATO ASI Ser., Kluwer, Dordrecht, p.101

197. Озел (Ozel, F.) 2002, "The effect of vacuum polarization and proton cyclotron resonances on photon propagation in strongly magnetized plasmas", [astro-ph/0203449](#)
198. Острикер и др. (Ostriker, J.P., Rees, M.J. and Silk, J.) 1970, *Astrophys. Lett.* 6, 179
199. Оуэн и др. (Owen, B.J., Lindblom, L., Cutler, C., Schutz, B.F., Vecchio, A., Andersson, N.) 1998, "Gravitational waves from hot young rapidly rotating neutron stars", *Phys. Rev. D* 58 084020-1/15
200. Павлов, Г.Г., Гнедин, Ю.Н., 1983, "Поляризация вакуума магнитным полем и ее астрофизические проявления", в сборнике Итоги науки и техники. Астрономия. Том 22, ред. Р.А. Сюняев, с.172
201. Павлов и др. (Pavlov, G.G., Shibano, Yu.A., Zavlin, V.E., Meyer, R.D.) 1995, "Neutron star atmospheres", in: Proc. NATO ASI "The lives of the neutron stars", Eds. M.A. Alpar, U. Kiziloglu, J. van Paradijs, Kluwer Academic, Dordrecht, p.71
202. Павлов и др. (Pavlov, G.G., Zavlin, V.E., Aschenbach, B., Trumper, J., Sanwal, D.) 2000, "The compact central object in Cas A: a neutron star with hot polar caps or a black hole?", *ApJ* 531, L53
203. Павлов и др. (Pavlov, G.G., Sanwal, D., Garmire, G.P., Zavlin, V.E.) 2001a, "The puzzling compact sources in supernova remnants", [astro-ph/0112322](#)
204. Павлов и др. (Pavlov, G.G., Zavlin, V.E., Sanwal, D., Burwitz, V., Garmire, G.P.) 2001b, "The X-Ray spectrum of the Vela pulsar resolved with the Chandra X-Ray observatory", *ApJ* 552, L129
205. Павлов и др. (Pavlov, G.G., Zavlin, V.E., Sanwal, D., Trumper, J.) 2002, "1E 1207.4-5209: the puzzling pulsar at the center of the PKS 1209-51/52 supernova remnant", [astro-ph/0203271](#)
206. Паж и др. (Page, D., Geppert, U., Zannias, T.) 2000, "General relativistic treatment of the thermal, magnetic and rotational evolution of isolated neutron stars with crustal magnetic fields", *A&A* 360, 1052
207. Пачинский (Paczynski, B.) 1990, "A test of the Galactic origin of gamma-ray bursts", *ApJ*, 348, 485
208. Пачинский (Paczynski, B.) 2001, "Can HST measure the mass of the isolated neutron star RX J185635-3754?", [astro-ph/0107443](#)
209. Перна и др. (Perna, R., Heyl, J.S., Hernquist, L.E.) 2001, "Anomalous X-ray pulsars and soft γ -ray repeaters: spectral fits and the magnetar model", *ApJ* 557, 18 ([astro-ph/0103273](#))
210. Петик (Pethick, C. J.) 1992, "Cooling of neutron stars", *Rev. Mod. Phys.* 64, 1133
211. Петре и др. (Petre, R., Becker, C.M., Winkler, P.F.) 1996, "A central stellar remnant in Puppis A", *ApJ* 465, L43
212. Пинаев В.С., 1963, "О некоторых процессах образования нейтринных пар в звездах", *ЖЭТФ* 45, 548 (English translation: *Sov. Phys. JETP* 18, 377, 1964)
213. Пол и др. (Paul, B., Kawasaki, M., Dotani, T., Nagase, F.) 2000, "Study of long term stability of two anomalous X-ray pulsars 4U 0142+61 and 1E 1048.1-5937 with ASCA", *ApJ* 537, 319 ([astro-ph/0002220](#))
214. Понс и др. (Pons, J. A., Walter, F. M., Lattimer, J. M., Prakash, M., Neuhauser, R., An, P.) 2001, "Toward a mass and radius determination of the nearby isolated neutron star RX J185635-3754", *ApJ* 564, 981
215. Попов (Popov, S.B.) 2001, "Evolution of isolated neutron stars", in: "Astrophysical sources of high energy particles and radiation", Eds. M.M. Shapiro, T. Stanev, J.P. Wefel, NATO Science Series, II. Mathematics, Physics, Chemistry, vol.44, p.101 ([astro-ph/0101031](#))

216. Попов, Прохоров (Popov, S.B., Prokhorov, M.E.) 2000, "ROSAT X-ray sources and exponential field decay in isolated neutron stars", A&A 357, 164
217. Попов и др. (Popov, S.B., Colpi, M., Treves, A., Turolla, R., Lipunov, V.M., Prokhorov, M.E.) 2000a, "The neutron star census", ApJ 530, 896
218. Попов и др. (Popov, S.B., Colpi, M., Prokhorov, M.E., Treves, A., Turolla, R.) 2000b, "Log N - Log S distributions of accreting and cooling isolated neutron stars", ApJ 544, L53
219. Попов, Прохоров (Popov S.B., Prokhorov M.E.) 2002, "Evolution of isolated neutron stars in globular clusters: number of Accretors", Submitted to Astr. Astroph. Trans. ([astro-ph/0102201](#))
220. Попов и др. (Popov S.B., Prokhorov M.E., Colpi M., Treves A., Turolla R.) 2002, "Young close isolated compact objects", Submitted to Gravitation & Cosmology ([astro-ph/0201030](#))
221. Поссенти и др. (Possenti, A., Mereghetti, S., Colpi, M.) 1996, "The pulsed soft X-ray emission from PSR 0656+14", A&A 313, 565
222. Поссенти и др. (Possenti, A., Colpi, M., Geppert, U., Burderi, L., D'Amico, N.) 1999, "Recycling neutron stars to ultrashort periods: A statistical analysis of their evolution in the \dot{M} -P plane", ApJ Suppl. 125, 463
223. Постнов, К.А., Прохоров, М.Е., 1998, "О возможной раскрутке молодых нейтронных звезд при асимметричных вспышках сверхновых", ПАЖ 24, 659
224. Потехин (Potekhin, A.Y.) 1999, "Electron conduction in magnetized neutron star envelopes", A&A 351, 787 ([astro-ph/9909100](#))
225. Потехин, Павлов (Potekhin, A.Y., Pavlov, G.G.) 1997, "Photoionization of hydrogen in atmospheres of magnetic neutron star", ApJ 483, 414
226. Потехин и др. (Potekhin, A.Y., Chabrier, G., Yakovlev, D.G.) 1997, "Internal temperatures and cooling of neutron stars with accreted envelopes", A&A 323, 415 ([astro-ph/9706148](#))
227. Потехин и др. (Potekhin, A.Y., Shibano, Yu.A., Ventura, J.) 1998, "Equation of state and opacities for hydrogen atmospheres of strongly magnetized cooling neutron stars", in "Neutron stars and pulsars", Eds. N.Shibazaki et al., Universal Academy Press, Tokyo, p.161 ([astro-ph/9803046](#))
228. Потехин, Яковлев (Potekhin, A.Y., Yakovlev, D.G.) 2001, "Thermal structure and cooling of neutron stars with magnetized envelopes", A&A 374, 213
229. Пракаш и др. (Prakash, M., Lattimer, J.M., Pons, J.A., Steiner, A.W., Reddy, S.) 2001, "Evolution of a neutron star from its birth to old age", in: "Physics of neutron star interiors", Eds. D. Blaschke, N.K. Glendenning and A. Sedrakian (Springer), Lecture Notes in Physics, vol.578, p.364 ([astro-ph/0012136](#))
230. Прохоров и др. (Prokhorov, M.E., Popov, S.B., Khoperskov, A.V.) 2002, "Period distribution of old accreting isolated neutron stars", A&A 381, 1000
231. Прохоров, Постнов (Prokhorov, M.E., Postnov, K.A.) 1994, "Spatial distribution of old neutron stars. Semianalytical considerations", A&A, 286, 437
232. Прохоров, Постнов (Prokhorov, M.E., Postnov, K.A.) 1993, "The distribution of old neutron stars in the Galaxy", Astron. Astroph. Trans., 4, 81
233. Прохоров, М.Е., Попов, С.Б. 2002, "Близкие молодые черные дыры", ПАЖ (в печати).
234. Псалтис, Миллер (Psaltis, D., Miller, M.C.) 2002, "Implications of the narrow period distribution of anomalous X-ray pulsars and soft gamma-ray repeaters", [astro-ph/0202339](#)

235. Пфал, Раппапорт (Pfahl, E., Rappaport, S.) 2001, "Bondi-Hoyle-Lyttleton accretion model for low-luminosity X-Ray sources in globular clusters", ApJ 550, 172 ([astro-ph/0009212](#))
236. Раджагопал, Романи (Rajagopal, M., Romani, R.W.) 1996, "Model atmospheres for low-field neutron stars", ApJ 461, 327
237. Раджагопал и др. (Rajagopal, M., Romani, R.W., Miller, M.C.) 1997, "Magnetized iron atmospheres for neutron stars", ApJ 479, 347
238. Рамачандран (Ramachandran, R.) 1999, "Kinematics of radio pulsars", [astro-ph/9911083](#)
239. Регимбо, де Фрейтас Пачеко (Regimbau, T., de Freitas Pacheco, J. A.) 2001, "Population synthesis of pulsars: Magnetic field effects", A&A 374, 181
240. Реймер и др. (Reimer, O., Brazier, K.T.S., Carramiñana, A., Kanbach, G., Nolan, P.L., Thompson, D.J.) 2001, "Multifrequency studies of the enigmatic gamma-ray source 3EG J1835+5918", MNRAS 324, 772 ([astro-ph/0102150](#))
241. Романи (Romani, R.W.) 1987 "Model atmospheres for cooling neutron stars", ApJ 313, 718
242. Романова и др. (Romanova, M.M., Toropina, O.D., Toropin, Yu.M., Lovelace, R.V.E.) 2001, "Interaction of evolved pulsars and magnetars with the ISM", in: "Relativistic Astrophysics", proceedings of the 20th Texas symposium, AIP Conf. Series (Melville, New York), Eds. J.C. Wheeler, H. Martel, vol.586, p.519
243. Ротшильд и др. (Rothschild, R.E., Marsden, D., Lingenfelter, R.E.) 2001, "Fossil disks and propellor spindown of SGR/AXPs", [astro-ph/0105419](#)
244. Рудерман, Сазерленд (Ruderman, M.A., Sutherland, P.G.) 1975, "Theory of radiopulsar gaps, sparks, and coherent microwave radiation", ApJ 196, 51
245. Рутледж (Rutledge, R.E.) 2001, "Magnetically accreting isolated old neutron stars", ApJ 553, 796 ([astro-ph/0101550](#))
246. Рэнсом и др. (Ransom, S.M., Gaensler, B.M., Slane, P.O.) 2001, "A deep search for pulsations from the nearby isolated neutron star RX J1856.5-3754", ApJ 570, L75([astro-ph/0111339](#))
247. Саакян Г.С., 1995, "Физика нейтронных звезд", Дубна
248. Саваж, Сембах (Savage, B. D., Sembach, K. R.) 1996, "Interstellar abundances from absorption-line observations with the Hubble space telescope", ARAA 34, 279
249. "Сильные магнитные поля в нейтринной астрофизике" ("Strong magnetic fields in neutrino astrophysics") 2000, Eds. A.V. Kuznetsov, N.V. Mikheev, A. Ya. Parkhomenko, Yaroslavl
250. Слейн и др. (Slane, P., Hughes, J.P., Edgar, R.J., Plucinsky, P.P., Miyata, E., Aschenbach, B.) 2001, "Nonthermal X-ray emission from G226.2-1.2 (RX J0852.0-4622)", ApJ 548, 814 ([astro-ph/0104353](#))
251. Слейн и др. (Slane, P., Helfand, D.J., Murray, S.S.) 2002, "New Constraints on Neutron Star Cooling from Chandra Observations of 3C58", [astro-ph/0204151](#)
252. Соболев, В.В., 1985, "Курс теоретической астрофизики", М., Наука
253. София и др. (Sofia, U. J., Cardelli, J. A., Savage, B. D.) 1994, "The abundant elements in interstellar dust", ApJ 430, 650
254. Спруит, Финней (Spruit, H., Phinney, E.S.) 1998, "Birth kicks as the origin of pulsar rotation", Nature, 393, 139
255. Таурис, Конар (Tauris, T.M., Konar, S.) 2001, "Torque decay in the pulsar (\dot{P} , \ddot{P}) diagram. Effects of crustal ohmic dissipation and alignment", A&A 376, 543 ([astro-ph/0101531](#))

256. Тейлор и др. (Taylor, J. H., Manchester, R. N., Lyne, A. G.) 1993, "Catalog of 558 pulsars", *ApJ Supp.* 88, 529
257. Томпсон (Thompson, C.) 2000, "Astrophysics of the soft gamma repeaters and anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/0010016](#)
258. Томпсон (Thompson, C.) 2001, "Nature of the soft gamma repeaters and anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/0110679](#)
259. Томпсон, Дункан (Thompson, C., Duncan, R.C.) 1995, "The soft gamma repeaters as very strongly magnetized neutron stars - I. Radiative mechanism for outbursts", *MNRAS* 275, 255
260. Томпсон, Дункан (Thompson, C., Duncan, R.C.) 1996, "The soft gamma repeaters as very strongly magnetized neutron stars. II. Quiescent neutrino, X-Ray, and Alfvén wave emission", *ApJ* 473, 322
261. Томпсон и др. (Thompson, C., Lyutikov, M., Kulkarni, S.R.) 2001, "Electrodynamics of magnetars: Implications for the persistent X-ray emission and spindown of the soft gamma repeaters and anomalous X-ray pulsars", [astro-ph/0110677](#)
262. Торн (Thorne, K.S.) 1977, "The relativistic equations of stellar structure and evolution", *ApJ* 212, 825
263. Торопин и др. (Toropin, Yu.M., Toropina, O.D., Savelyev, V.V., Romanova, M.M., Chechetkin, V.M., Lovelace, R.V.E.) 1999, "Spherical Bondi accretion onto a magnetic dipole", *ApJ*, 517, 906
264. Торопина и др. (Toropina, O.D., Romanova, M.M., Toropin, Yu.M., Lovelace, R.V.E.) 2001, "Propagation of magnetized neutron stars through the interstellar medium", *ApJ* 561, 964
265. Тоскано и др. (Toscano, M., Britton, M.C., Manchester, R.N., Bailes, M., Sandhu, J.S., Kulkarni, S.R., Anderson, S.B.) 1999, "Parallax of PSR J1744-1134 and the local interstellar medium", *ApJ* 523, L171
266. Тревес и др. (Treves, A., Colpi, M., Lipunov, V.M.) 1993, "Old isolated neutron stars: fire burns and cauldron bubbles", *A&A*, 269, 319
267. Тревес и др. (Treves, A., Colpi, M., Turolla, R., Zane, S.) 1998, "Neutron stars accreting the ISM: are they fast or slow objects?", *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 69, 249
268. Тревес, Колпи (Treves, A., Colpi, M.) 1991, "The observability of old isolated neutron stars", *A&A*, 241, 107
269. Тревес и др. (Treves, A., Turolla, R., Zane, S., Colpi, M.) 2000, "Isolated neutron stars: accretors and coolers", *PASP* 112, 297
270. Туролла и др. (Turolla, R., Zampieri, L., Colpi, M., Treves, A.) 1994, "Spherical accretion onto neutron stars revisited: are hot solutions possible?", *ApJ* 426, L35
271. Урпин, Коненков (Urpin, V., Konenkov, D.) 1997, "Magnetic and spin evolution of isolated neutron stars with the crustal magnetic field", *MNRAS* 295, 167
272. Урпин, В.А., Муслимов, А.Г., 1992, "Эволюция магнитного поля в коре и охлаждение нейтронных звезд", *АЖ* 69, 1028
273. Усов (Usov, V. V.) 2001, "Strange star heating events as a model for giant flares of soft-gamma-ray repeaters", *Phys. Rev. Lett.* 87, 021101
274. Усов, Мелроуз (Usov, V. V., Melrose, D. B.) 1996, "Bound pair creation in polar gaps and gamma-ray emission from radio pulsars", *ApJ* 464, 306
275. Фечнер, Джосс (Fechner, W.B., Joss, P.C.) 1978, "Quark stars with 'realistic' equations of state", *Nature* 274, 347
276. "Физика недр нейтронных звезд" ("Physics of neutron star interiors") 2001, Eds. D. Blaschke, N.K. Glendenning and A. Sedrakian (Springer), *Lecture Notes in Physics*, vol.578

277. Флауэрс и др. (Flowers, E.G., Ruderman, M., Sutherland, P.G.) 1976, "Neutrino pair emission from finite-temperature neutron superfluid and the cooling of young neutron stars", *ApJ* 205, 541
278. Фриман, Максвелл (Friman, B.L., Maxwell, O.) 1979, "Neutrino emissivities of neutron stars", *ApJ* 232, 541
279. Фритце-ф.Алфенслебен (Fritze-v. Alvensleben, U.) 2000, "Modelling tools: population and evolutionary synthesis", in: "Stars, gas and dust in galaxies: exploring the links", Eds. D. Alloin, K. Olsen, and G. Galaz, ASP Conference Proceedings, vol.221, (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific) ([astro-ph/0009290](#))
280. Фуджита и др. (Fujita, Y., Inoue, S., Nakamura, T., Manmoto, T., Nakamura, K. E.) 1998, "Emission from isolated black holes and MACHOs accreting from the interstellar medium", *ApJ* 495, L85
281. Хаберл, Завлин (Haberl, F., Zavlin, V.E.) 2002, "XMM-Newton observations of the isolated neutron star RX J0806.4-4123", [astro-ph/0205460](#)
282. Хаберл и др. (Haberl, F., Motch, C., Pietsch, W.) 1998, "Isolated neutron stars in the ROSAT survey", *Astron. Nachr.* 319, 97
283. Халлеман и др. (Hulleman, F., Tennant, A.F., van Kerkwijk, M.H., Kulkarni, S.R., Kouveliotou, C., Patel, S.K.) 2001, "A possible faint near-infrared counterpart to the AXP 1E 2259+58.6", *ApJ* 563, L49([astro-ph/0110172](#))
284. Халлеман и др. (Hulleman, F., van Kerkwijk, M. H., Kulkarni, S. R.) 2000, "An optical counterpart to the anomalous X-ray pulsar 4U0142+61", *Nature* 408, 689
285. Хальперн, Холт (Halpern, J.P., Holt, S.S.) 1992, "Discovery of soft X-ray pulsations from the gamma-ray source Geminga", *Nature* 357, 222
286. Хамбарян и др. (Hambaryan, V., Hasinger, G., Schwobe, A. D., Schulz, N. S.) 2001, "Discovery of 5.16 s pulsations from the isolated neutron star RBS 1223", *A&A* 381, 98
287. Хансен, Финней (Hansen, B.M.S., Phinney, E.S.) 1997, "The pulsar kick velocity distribution", *MNRAS* 291, 569
- ±
288. Харлей (Hurley, K.) 1999, "The 4.5 – 0.5 soft gamma repeaters in review", in: "Gamma-ray Bursts", 5th Huntsville Symposium, Eds. R. M. Kippen, R. S. Mallozzi, G. J. Fishman (American Institute of Physics, Melville, New York), p.763 ([astro-ph/9912061](#))
289. Хартман (Hartman, J.W.) 1997, "On the velocity distribution of radio pulsars at birth", *A&A*, 322, 127
290. Хартман и др. (Hartman, J.W., Bhattacharya, D., Wijers, R.A.M.J., Verbunt, F.) 1997, "A study of the evolution of radio pulsars through improved population synthesis" *A&A*, 322, 477
291. Хейл, Хернквист (Heyl, J.S., Hernquist, L.) 1997a, "Powering anomalous X-ray pulsars by neutron star cooling", *ApJ* 489, L67
292. Хейл, Хернквист (Heyl, J.S., Hernquist, L.) 1997b, "The thermal evolution of ultramagnetized neutron stars", *ApJ* 491, L95
293. Хелфанд (Helfand, D.J.) 1998, "A cradle census evidence for young neutron stars in supernova remnants", *Mem. Soc. Astron., Ital.* 69, 791
294. Херант и др. (Herant M., Benz W., Hix J., Fryer C.L., Colgate S.A.) 1994, "Inside the supernova: a powerful convective engine", *ApJ* 435, 339
295. Хирата и др. (Hirata, K., Kajita, T., Koshiha, M., Nakahata, M., Oyama, Y.) 1987, "Observation of a neutrino burst from the supernova SN1987", *Phys. Rev. Lett.* 58, 1490
296. Хо, Лай (Ho, W.C.G., Lai, D.) 2001, "Atmospheres and spectra of strongly magnetized neutron stars", *MNRAS* 327, 1081 ([astro-ph/0104199](#))

297. Хойл, Литтлтон (Hoyle, F., Littleton, R.A.) 1939, "Evolution of stars", Proc. Camb. Phil. Soc. 35, 592
298. Хук, Шевалье (Houck, J.C., Chevalier, R.A.) 1991, "Steady spherical hypercritical accretion onto neutron stars", ApJ 376, 234
299. Хьюиш, Белл и др. (Hewish, A., Bell, S.J., Pilkington, J.D.H., Scott, P.F., Collins, R.A.) 1968, "Observation of a rapidly pulsating radio source", Nature 217, 709
300. Цыган, А.И., 1993, "Влияние сильного гравитационного поля на электрические поля нейтронных звезд", ПАЖ 19, 665
301. Цюрюта, Камерон (Tsuruta, S., Cameron, A.G.W.) 1965, "Cooling of neutron stars", Nature 207, 364
302. Чакрабартти и др. (Chakrabarty, D., Pivovarov, M. J., Hernquist, L. E., Heyl, J. S., Narayan, R.) 2000, "The central X-Ray point source in Cassiopeia A", ApJ 548, 800 ([astro-ph/0001026](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0001026))
303. Чандрасекар, С., 1953, "Перенос лучистой энергии", М., ИЛ (Chandrasekhar, S., 1960, "Radiative transfer", Dover, NY).
304. Чаттерjee и др. (Chatterjee, S., Corder, J.M., Lazio, T.J.W., Goss, W.M., Fomalont, E.B., Benson, J.M.) 2001, "Parallax and kinematics of PSR B0919+06 from VLBA astrometry and interstellar scintillometry", ApJ 550, 287
305. Чаттерjee и др. (Chatterjee, P., Hernquist, L., Narayan, R.) 2000, "An accretion model for anomalous X-Ray pulsars", ApJ 534, 373 ([astro-ph/9912137](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9912137))
306. Чен, Рудерман (Chen, K., Ruderman, M.) 1993, "Pulsar death lines and death valley", ApJ 402, 264
307. Чисхолм и др. (Chisholm, J.R., Dodelson, S., Kolb, E.W.) 2002, "Stellar-mass black holes in the Solar neighborhood", [astro-ph/0205138](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0205138)
308. Чиу, Салпитер (Chiu, H.-Y., Salpeter, E.E.) 1964, "Surface X-ray emission from neutron stars", Phys. Rev. Lett. 12, 413
309. Шааб и др. (Schaab, Ch., Sedrakian, A., Weber, F., Weigel, M. K.) 1999, "Impact of internal heating on the thermal evolution of neutron stars", A&A, 346, 465
310. Шабрие и др. (Chabrier, G., Potekhin, A.Y., Yakovlev, D.G.) 1997, "Cooling neutron stars with accreted envelopes", ApJ 477, L99
311. Шапиро, С., Тьюколски, С., 1985, "Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды", М. Мир
312. Шварц, Сейдел (Schwarz, D.J., Seidel, D.) 2002, "Microlensing neutron stars", [astro-ph/0204053](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0204053)
313. Шварцман, В.Ф., 1970а, "Зоны ионизации вокруг нейтронных звезд", АЖ 47, 824
314. Шварцман, В.Ф., 1970б, "О влиянии звездного ветра на аккрецию", АЖ 47, 660
315. Шварцман, В.Ф., 1970в, "Два поколения пульсаров", Изв. ВУЗов, серия Радиофизика 13, 1852
316. Шварцман, В.Ф., 1971, "Ореолы вокруг черных дыр", АЖ 48, 479
317. Шевалье (Chevalier, R.A.) 1989, "Neutron star accretion in a supernova", ApJ 346, 847
318. Шевалье, Эммеринг (Chevalier, R.A., Emmering, R.T.) 1986, "Are pulsars born as slow rotators?", ApJ 304, 140
319. Шибанов и др. (Shibanov, Yu.A., Zavlin, V.E., Pavlov, G.G., Ventura, J.) 1992, "Model atmospheres and radiation of magnetic neutron stars. I - The fully ionized case", A&A 266, 313

320. Шибанов и др. (Shibanov, Yu.A., Pavlov, G.G., Zavlin, V.E., Qin, L., Tsuruta, S.) 1995a, "Anisotropic cooling and atmospheric radiation of neutron stars with strong magnetic field", *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 759, 291
321. Шибанов и др. (Shibanov, Yu.A., Zavlin, V.E., Pavlov, G.G.) 1995b, "Model atmospheres of neutron stars", in: *Proc. NATO ASI "The lives of the neutron stars"*, Eds. M.A.Alpar, U.Kiziloglu, J. van Paradijs (Kluwer Academic, Dordrecht), p.91
322. Шитов, Пугачев (Shitov, Yu.P., Pugachev, V.D.) 1998, "The radio pulsar Geminga", *New Astronomy* 3, 101
323. Шитов и др. (Shitov, Yu. P., Pugachev, V. D., Kutuzov, S. M.) 2000, "Low frequency radio emission of pulsar PSR J1907+0919 associated with the magnetar SGR 1900+14", in *Proceedings of IAU Coll. 177, "Pulsar astronomy - 2000 and beyond"*, ASP Conf. Series vol.202 (San Francisco), Eds. M.Kramer, N.Wex, and R. Wielebinski, p.685
324. Эйкенберри (Eikenberry, S.S.) 2002, "The environments of SGRs: a brief & biased review", [astro-ph/0203054](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0203054)
325. Эргма, ван ден Хевел (Ergma, E., van den Heuvel, E.P.J.) 1998, "From which stars black holes and neutron stars may form?", *Physica Scripta* 77, 76
326. Эргма, ван ден Хевел (Ergma, E., van den Heuvel, E.P.J.) 1998, "On the initial progenitor masses of stellar mass black holes and neutron stars", *A&A* 331, L29
327. Яковлев и др. (Yakovlev, D.G., Kaminker, A.D., Gnedin, O.Y., Haensel, P.) 2001, "Neutrino emission from neutron stars", *Phys. Rept.* 354, 1 ([astro-ph/0012122](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0012122))
328. Яковлев, Д.Г., Левенфиш, К.П., Шибанов, Ю.А., 1999, "Остывание нейтронных звезд и сверхтекучесть в их ядрах", *УФН* 169, 825
329. Янка и др. (Janka, H.-Th., Kifonidis, K., Rampp, M.) 2001, "Supernova explosions and neutron star formation", in: "Physics of neutron star interiors", Eds. D. Blaschke, N.K. Glendenning and A. Sedrakian (Springer), *Lecture Notes in Physics*, vol.578, p.333 ([astro-ph/0103015](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0103015))