

- Dearborn D S, Schramm D, Steigman G, Truran J *Astrophys. J.* **347** 455 (1989)
 Gilmore G, Gustafsson B, Edvardsson B, Nissen P E *Nature* **357** 379 (1992)
 Kajino T, Boyd R N *Astrophys. J.* **359** 267 (1990)
 Menequzzi M, Audouze J, Reeves H *Astron. and Astrophys.* **15** 337 (1971)
 Michaud G *Astrophys. J.* **302** 650 (1986)
 Мусаев Ф А *Письма Астрон. ж.* **19** 776 (1993)
 Панчук В Е, Клочкова В Г, Галазутдинов Г А и др. *Письма Астрон. ж.* **19** 1061 (1993)
 Spite M, Spite F *Astron. and Astrophys.* **115** 357 (1982)
 Terasava N, Sato K *Astrophys. J.* **362** L47 (1990)

PASC numbers: 97.60.Jd, 97.60.Lf

Г.М. Бескин, С.Н. Митронова, С.И. Неизвестный, В.Л. Плохотниченко, М.Ю. Попова. Исследования релятивистских и быстропеременных объектов с высоким временным разрешением

1. В Специальной астрофизической обсерватории РАН с 1972 г. проводится эксперимент МАНИЯ (Многоканальный Анализ Наносекундных Изменений Яркости) — обширная программа поиска и изучения переменности на временах от 10^{-7} до 10^2 с астрофизических объектов различных классов.

Такого рода изменения блеска обусловлены нестационарными процессами трансформации энергии в сильных гравитационных и/или магнитных полях черных дыр и нейтронных звезд (одиночных и входящих в двойные системы), белых карликов, активных областей на вспыхивающих звездах. Наблюдения этих объектов с высоким временным разрешением позволяют судить как об их физических свойствах, так и о закономерностях их взаимодействия с аккрецирующей плазмой. Основной метод исследований — фотометрия с временным разрешением 10^{-7} с. Наблюдения проводятся синхронно в двух UBVR-полосах (до 1992 г. — в одной полосе) с помощью фотометра на счете фотонов, установленного в одном из фокусов 6-метрового оптического телескопа, преобразователя "время-код" "Квантохрон" и РС АТ-386. Аппаратура позволяет определять моменты регистрации отдельных фотонов с точностью ± 20 нс, последовательности таких событий далее анализируются различными статистическими методами. Об оборудовании и способах обработки наблюдательной информации сообщается в работах [1–3].

Следует подчеркнуть, что идейные основы эксперимента были заложены В.Ф. Шварцманом [4], под его руководством был создан аппаратный комплекс, разработаны алгоритмы поиска переменности. После его кончины в 1987 г., сотрудники созданной им группы продолжают исследования по намеченной им программе.

Ниже приводятся некоторые результаты поиска и исследования релятивистских и быстропеременных объектов с высоким временным разрешением на 6-метровом телескопе.

2. Поиск одиночных черных дыр звездных масс

В 1971 г. Шварцман показал [5], что вокруг одиночной черной дыры звездной массы должен образовываться светящийся ореол из аккрецирующего на нее газа. Спектр ореола лишен линий, основное энергосодержание приходится на оптический диапазон. Интенсивность излучения аккрецирующей на черную дыру плазмы должна изменяться на характерных временах

$\tau \sim r_g/c \sim 10^{-5}$ с. Последнее свойство является критическим признаком для отождествления какого-либо объекта с черной дырой.

Было отобрано около 200 объектов, спектры которых лишены линий. Часть из них находится близко от Солнца (< 200 пк) — это ДС-карлики, обладающие большими собственными движениями. Другая категория объектов-кандидатов в черные дыры — РОКОСы — звездобразные радиообъекты с континуальными оптическими спектрами.

В течение 1980–1987 гг. были исследованы 20 ДС-карликов и 20 РОКОСов. Ни в одном случае переменность на временах 10^{-6} – 10^2 с не зарегистрирована [6, 7].

Отсутствие черных дыр среди наблюдавшихся 20 ДС-карликов позволяет получить верхнюю границу для доли черных дыр относительно плотности обычных звезд вблизи Солнца — $5 \cdot 10^{-4}$. Эта величина близка к доле звезд с массами, превышающими $30 M_{\odot}$.

3. Исследование пульсаров

3.1. Анализ кривой блеска пульсара в Крабе

В 1986 г. был проведен цикл наблюдений пульсара PSR 0532+21 в R-полосе, в течение которого зарегистрировано около 2 миллионов фотонов от пульсара. Использование стабилизированного реперного сигнала позволило, свернув данные с определенным по ним самим топоцентрическим периодом, получить кривую блеска с разрешением 3,3 мкс [8]. Вершина главного пульса уплощена, ее длительность на уровне 90% от максимума — 230 мкс (рис. 1). Главный импульс не имеет тонкой структуры, верхний предел для ее относительной амплитуды составил 10% на временах 3,3 мкс. С другой стороны, амплитуды спорадических всплесков длительностью от $5 \cdot 10^{-7}$ до $6 \cdot 10^{-5}$ с не превышает 6 и 18% соответственно. Таким образом, характеристики частиц и магнитного поля в зоне генерации оптического излучения весьма стабильны и однородны.

3.2. Поиски оптического излучения миллисекундных радиопульсаров

Мы исследовали первый миллисекундный пульсар PSR 1937+21 с периодом 1,56 с и входящий в двойную систему пульсар PSR 1953+29 с периодом 6,1 с. Наблюдения проводились в белом свете с диафрагмами 4,5" и 7". Диафрагмы устанавливались по радиокоординатам объектов, от каждого из которых было накоплено несколько миллионов фотонов. Поиски периодов проводились с помощью специальной программы на основе предвычисленных топоцентрических значений. Использовались около 500 пробных периодов. Ни в одном случае после сворачивания данных не было замечено значимых отклонений от пуассоновского разброса. Таким образом, блеск обоих оптических пульсаров не превышает в полосе в 26^m , 5 – 27^m [9].

4. Исследования вспыхивающих звезд типа UV Ceti

В течение 1983–1986 гг. было проведено несколько циклов наблюдений красных карликов UV Ceti, CN Leo, Wolf 424, V 577 Mon. Всего было зарегистрировано более 100 всплесков с временным разрешением $5 \cdot 10^{-7}$ с. Статистический анализ накопленной информации показал, что у 90% всплесков длительность переднего фронта меньше 10 с, в четырех случаях блеск возрастал за 0,3–0,8 с (рис. 2), длительность деталей кривых блеска в максиму-

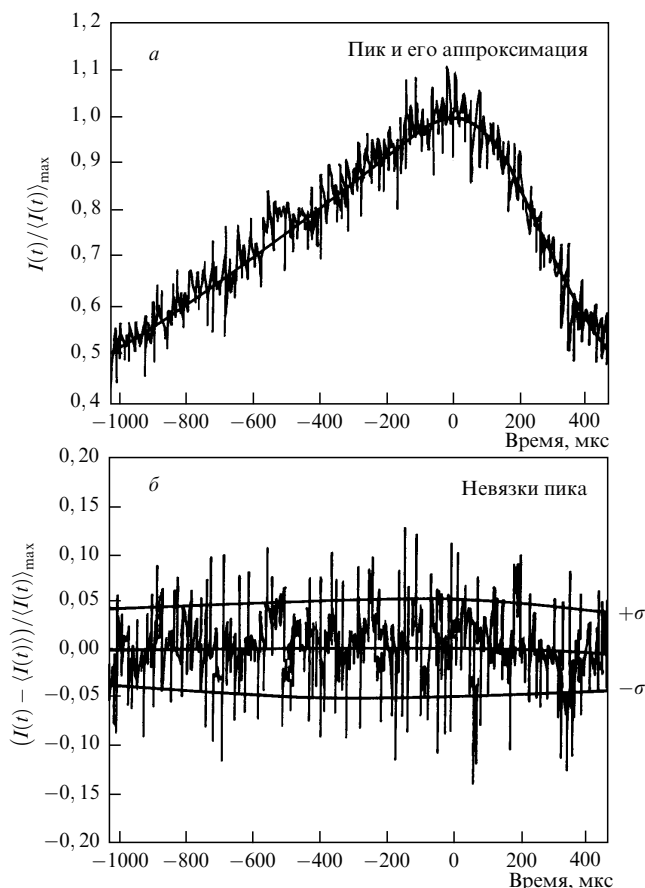


Рис. 1. *a* — Вершина кривой блеска пульсара PSR 0532+21 с разрешением 3,3 мкс. *б* — Нормированные невязки между кривой блеска и ее аппроксимация сплайнами

мах и на спадах интенсивности заведомо превышает 0,5 с, во всех всплесках не обнаружена тонкая временная структура на временах 10^{-6} – 10^{-1} с. Минимальные длительности передних фронтов всплесков хорошо согласуются с оценками, полученными в рамках тепловой газодинамической модели [10]. Совокупность всех наших результатов подтверждает представление о тепловой природе всплесков красных карликовых звезд.

5. Исследования маломассивных рентгеновских двойных систем

У объектов этого типа проявления аккрецирующей на релятивистский компонент плазмы наиболее значимы ("подсветка" нормального компонента мала). Мы наблюдали около 10 таких систем с 1983 г., и исследования продолжаются. Наиболее интересные результаты были получены при изучении двух рентгеновских новых — A0620–00 (Nova Mon 1975) и GRO J0422+32 (Nova Per 1992) [11, 12].

У первого объекта были зарегистрированы несколько всплесков длительностью 0,5–5 мс с продолжительностью передних фронтов 0,1–1 мс (рис. 3). Учитывая, что рассеяние до A0620–00 составляет около 1 кпк, а блеск — около 18^m , легко получить нижние границы для яркостных температур в зонах генерации всплесков — 10^8 – 10^{10} К. Отсюда следует, что обнаруженные всплески имеют нетепловой характер. GRO J0422–32 наблюдался в различных фазах — от 14^m вскоре после максимума до 18^m вблизи минимума — в течение 2 лет (1992–1993 гг.).

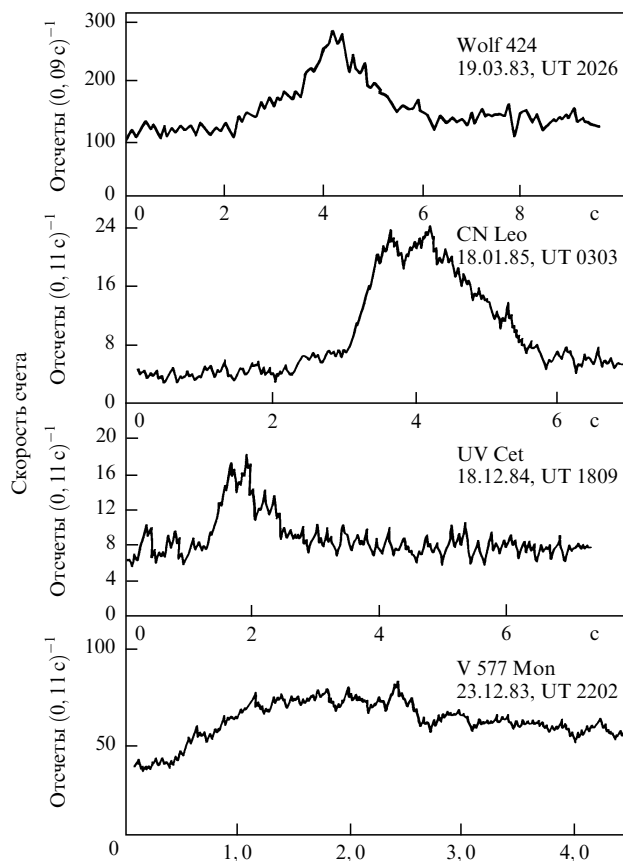


Рис. 2. Кривые блеска всплесков с длительностью переднего фронта меньше 1 с

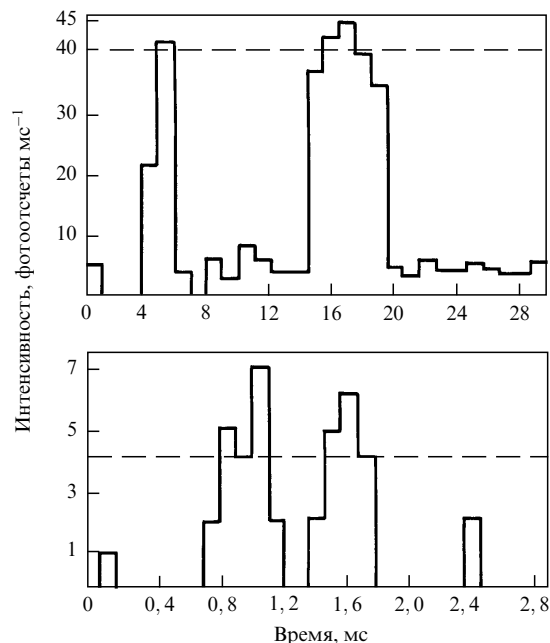


Рис. 3. Сверхкороткие всплески A0620–00

Интенсивность объекта в яркой фазе ($< 15^m$, 5) изменяется на временах 10^{-2} – 10^2 с с амплитудой 1–2. Отметим, что флуктуации блеска имеют стохастический характер — нет никаких регулярных компонент. Яркостные температуры, соответствующие наиболее коротким всплескам, превышают 10^8 К (для расстояния > 2 кпк), т.е. эти события, по-видимому, связаны с нетепловыми процессами.

Результаты наблюдений A0620-00 и GRO J0422+32 свидетельствуют в пользу реализации в некоторых случаях отклонений от классической дисковой модели. Более того, у GRO J0422+32 мы, по-видимому, непосредственно наблюдаем фрагментированную аккреционную структуру.

6. Перспективы исследований астрофизических объектов с высоким временным разрешением во многом связаны с созданием нового класса приемников — координатно-чувствительных детекторов (КЧД) с высоким пространственным (50 мкм) и временным разрешением (1 мкс). Использование таких систем позволит улучшить пределы обнаружения быстрых флуктуаций блеска на $2\text{--}3^m$. Другими словами, можно будет обнаруживать оптические пульсары с блеском $28\text{--}29^m$, и искать черные дыры среди объектов $20\text{--}21^m$.

На очереди — поиск черных дыр в зонах повышенной плотности межзвездного газа, поиск пульсирующего излучения в молодых остатках сверхновых в близких галактиках, синхронные наблюдения в нескольких полосах пульсара в Крабе, оптических вспышек, рентгеновских барстеров.

Список литературы

1. Неизвестный С И, Пимонов А А *Сообщ. САО* **23** 56 (1979)
2. Пимонов А А *Сообщ. САО* **25** 31 (1979)
3. Плохотниченко В Ф *Сообщ. САО* **38** 29 (1983)
4. Шварцман В Ф *Сообщ. САО* **19** 5 (1977)
5. Шварцман В Ф *Астрон. ж.* **48** 474 (1971)
6. Шварцман В Ф, Бескин Г М, Пустильник Л А *Астрофизика* **31** 457 (1989)
7. Шварцман В Ф, Бескин Г М, Митронова С Н *Письма Астрон. ж.* **15** 337 (1989)
8. Шварцман В Ф, Бескин Г М, Плохотниченко В Л В кн. *Физика нейтронных звезд. Пульсары и барстеры* (Ленинград, 1988) 178
9. Шварцман В Ф, Бескин Г М, Неизвестный С И, Плохотниченко В Л *Физика нейтронных звезд. Пульсары и барстеры* (Ленинград, 1988) 184
10. Шварцман В Ф, Бескин Г М, Гершберг Р Е, Плохотниченко В Л, Пустильник Л А *Письма Астрон. ж.* **14** 233 (1988)
11. Шварцман В Ф, Бескин Г М, Митронова С Н, Неизвестный С И, Плохотниченко В Л *Письма Астрон. ж.* **15** 590 (1989)
12. Bartolini C, Guarnieri A, Piccioni A, Beskin G, Neizvestny S *Astrophys. J. (Suppl.)* (in press)

PACS numbers: 97.60. Gb

Т.В. Шабанова. Обнаружение планетной системы около пульсара PSR 0329+54. Планеты за пределами Солнечной системы очень трудно обнаружить из-за их малого влияния на положение центральной звезды. Орбитальная лучевая скорость звезды при наличии планеты может составлять всего несколько см с^{-1} . Такую малую скорость можно обнаружить только при орбитальном движении источников излучения с постоянным периодом пульсаций, т.е. прежде всего у пульсаров — источников импульсного радиоизлучения высокой стабильности. Существование планеты обнаруживается по модуляции наблюдаемого времени прихода импульсов пульсара эффектом Доплера, возникающим при движении пульсара по орбите вокруг общего центра масс системы.

В настоящее время известно более 600 пульсаров и только у одного из них — миллисекундного пульсара

PSR 1257+12 — обнаружена планетная система [1]. В данной работе сообщается об обнаружении планеты около пульсара PSR 0329+54. Планета имеет массу около $2M_E$ (M_E — масса Земли) и обращается вокруг пульсара с периодом 16,8 лет по достаточно вытянутой орбите ($e = 0,2$) на расстоянии 7,3 а.е. Пульсар PSR 0329+54 — это второй пульсар, у которого обнаружена планетная система.

Результат о наличии орбитального движения пульсара PSR 0329+54 был получен на основе анализа наблюдений с точной временной привязкой, проводившихся в Пушино с 1979-го по январь 1994 г. на антенне БСА на частоте 102,5 МГц, и анализа опубликованных данных Даунса и Ричли, Даунса и Крауз-Полсторфа (далее, как DR и DK), полученных на промежутке времени 1968–1982 гг. на частоте 2388 МГц [2, 3].

Наблюдения в Пушино проводились на многоканальном радиометре ($32 \cdot 20$ кГц) с общей полосой пропускания 640 кГц и постоянной времени 3 мс. Интервал съема информации составлял 2,5 мс. Средний импульс за один сеанс наблюдения получался в результате синхронного с периодом пульсара суммирования 520 индивидуальных импульсов, регистрируемых за время прохождения этого пульсара через диаграмму направленности антенны. Время прихода импульсов измерялось по максимальному значению кросс-корреляционной функции, вычисляемой между средним импульсом, полученным из одного сеанса наблюдения, и эталонным профилем. Для получения эталонного профиля усреднялось 7300 отдельных импульсов. Точность определения моментов прихода импульсов составляла 30–100 мкс.

Анализ времени прихода импульсов PSR 0329+54 проводился по объединенному массиву: массиву, полученному в Пушино на частоте 102,5 МГц, и по опубликованному массиву данных DR и DK, полученному на частоте 2388 МГц. Времена прихода импульсов приводились к барицентру Солнечной системы с использованием эфемерид JPL DE200 [4] и координат пульсара [2] и пересчитывались на бесконечно высокую частоту для исключения зависимости времени прихода импульсов от частоты наблюдения. Объединенный массив содержал 790 значений, распределенных на интервале в 25 лет: сентябрь 1968 г. — январь 1994 г. По совместному массиву координаты и собственное движение пульсара не определялись.

Обработка проводилась следующим образом. На основе начальных значений периода P и производной периода \dot{P} предвычислялось время прихода импульсов и находились остаточные отклонения, равные разности между наблюдаемым временем прихода и предвычисленным, которые затем использовались для вычисления поправок к начальным значениям параметров. После этого вновь предвычислялось время прихода импульсов, но уже с уточненными параметрами и затем вновь находились остаточные отклонения — отклонения после аппроксимации. Аппроксимирующий полином имел вид

$$\varphi(t) = \varphi_0 + v(t - t_0) + \frac{1}{2} \dot{v}(t - t_0)^2 + \frac{1}{6} \ddot{v}(t - t_0)^3.$$

Здесь φ_0 — начальная фаза, $v = 1/P$ — частота вращения пульсара, $\dot{v} = -\dot{P}/P^2$, $\ddot{v} = -\ddot{P}/P^2$ — две ее первых производных, t_0 — время прихода первого импульса.