

Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН

На правах рукописи
УДК 524.354/520.82/52-43

Карпов Сергей Валентинович

**НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ
БЫСТРОПЕРЕМЕННЫХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность: 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз – 2007

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории
Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук Бескин Григорий Меерович, заведующий Группой релятивистской астрофизики
САО РАН

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук Афанасьев Виктор Леонидович, главный научный сотрудник Лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН
- доктор физико-математических наук Прохоров Михаил Евгеньевич, старший научный сотрудник Отдела релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ

Ведущая организация: Астрокосмический центр Физического института им. П.Н.Лебедева Российской академии наук

Защита состоится 12 апреля 2007 года в 13⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д002.203.01 в Специальной Астрофизической Обсерватории Российской Академии Наук по адресу: 396167 САО РАН, пос. Ниж.Архыз, Карачаево-Черкесская республика, Россия

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан “_7_” марта 2007 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
к.ф.-м.н. Е. К. Майорова.

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена всестороннему анализу наблюдательных проявлений различных классов быстропеременных релятивистских объектов – одиночных аккрецирующих черных дыр звездных масс, пульсаров, источников космических гамма-всплесков.

Несмотря на существенные различия в степени понимания природы этих феноменов, заведомо ясно, что здесь речь идет о конфигурациях с минимальными размерами и максимальными плотностями вещества и энергии, как гравитационной, так и магнитной. Как следствие, одним из важнейших свойств этих объектов является (или должна быть) переменность их излучения с минимальными (вплоть до микросекунд) характерными временами. Теоретический анализ, разработка методов анализа и наблюдения этих явлений и составляют предмет диссертации.

Одиночные черные дыры звездных масс до сих пор являются гипотетическими объектами – ни одна из них обнаружена не была, несмотря на то, что современные теории звездной эволюции предсказывают значительное их число в Галактике, и проводились специальные программы, направленные на их поиск (Beskin et al 1997). Теоретический анализ их наблюдательных проявлений во многом основан на работе Шварцмана (1971), предсказавшего достаточно высокую эффективность переработки гравитационной энергии аккрецирующего вещества и отсутствие в спектре его излучения линий, а также показавшего определяющую роль вмороженного в вещество магнитного поля в формировании как самого аккреционного потока, так и его наблюдательных проявлений. В данной работе сделана попытка углубить понимание процессов переработки магнитной энергии в излучение, а также исследовать временные его свойства.

Оптическое излучение пульсара в Крабовидной туманности исследуется уже почти 30 лет, однако до сих пор непонятны точные механизмы его формирования. Известно, что оно отличается относительно высокой стабильностью на фоне сильной переменности в радиодиапазоне, а также нерегулярных вариаций моментов прихода импульсов (“временного шума”) (Pacini 1971; Nasuti

et al 1996; Cordes 1980; Kuiper et al 2003; Rots et al 2004). Поиск и исследование вариаций оптической кривой блеска должны помочь разделить различные физические и геометрические механизмы формирования излучения разных областей спектра. В данной работе проводится анализ стабильности кривой блеска в широком диапазоне характерных времен, ориентированный на исследование как ее систематического изменения на шкале нескольких лет, так и кратковременных вариаций (на секундах - часах) моментов прихода отдельных пульсов.

Мониторинговые программы по поиску быстропеременных оптических транзиентов, сопровождающих космические гамма-всплески, ведутся практически с момента открытия их оптических послесвечений. Особо сложной и ранее не реализовавшейся является задача обнаружения и изучения оптических вспышек, возможно, связанных с короткими (меньше 1 секунды) гамма-всплесками. Для ее решения необходимо сочетание в наблюдениях широкого поля зрения, сравнимого с таковым у космических гамма-телескопов, и высокого временного разрешения, а также обеспечение редукции данных и обнаружения транзиентных объектов в реальном масштабе времени, на шкале долей секунды. В этой работе описывается методология подобных исследований, а также ее конкретная реализация в случае быстрых широкопольных камер FAVOR/TORTORA.

Актуальность темы

Исследование быстропеременных релятивистских объектов является основным методом изучения поведения астрофизической плазмы в экстремальных условиях – в больших магнитных и гравитационных полях. Важным при этом является как теоретический анализ возможных наблюдательных проявлений подобных объектов, так и разработка соответствующих методов получения и редукции данных. Наиболее перспективным в настоящее время представляется исследование вариаций блеска астрофизических объектов с помощью детекторов, позволяющих регистрировать времена прихода отдельных квантов. Анализ таких данных позволяет изучать поведение объекта как во вре-

менной, так и в частотной областях.

Результаты исследования стабильности оптического излучения пульсаров, и, в особенности, пульсара в Крабовидной туманности, могут сыграть определяющую роль в развитии теории как внутреннего строения, так и магнитосферы нейтронных звезд.

Другим актуальным направлением изучения быстропеременных объектов являются мониторинговые наблюдения, ставящие целью поиск и исследование оптических транзиентов, связанных с космическими гамма-всплесками, на самых ранних стадиях их существования, где наиболее ярко могут проявиться свойства релятивистских объектов – источников гамма-излучения.

Цель работы

Развитие теории сферической аккреции на одиночные черные дыры звездных масс для максимально полного описания их наблюдательных проявлений.

Разработка методики анализа данных, получаемых при наблюдениях с координатно-чувствительными детекторами в оптическом диапазоне, и ее применение к поиску и исследованию как объектов-кандидатов в черные дыры, так и пульсара в Крабовидной туманности.

Разработка методики мониторинговых наблюдений с быстрыми широкопольными камерами с целью автоматического поиска и исследования быстрых оптических транзиентов.

Научная новизна работы

- Построена теория аккреционного течения на одиночные черные дыры с учетом дискретной диссипации магнитного поля. Показано, что учет сохранения магнитного адиабатического инварианта при аккреции приводит к увеличению темпа нагрева на 25%, росту светимости и изменению профиля температуры в аккреционном потоке. Показано, что диссипация магнитной энергии в турбулентных токовых слоях приводит к появлению дополнительной компоненты плазмы – совокупности пучков ускоренных

электронов. Показано, что нетепловая электронная компонента порождает добавочное сравнительно жесткое излучение. Продемонстрировано, что переменность излучения нетепловой компоненты формируется как совокупность вспышек при падении отдельных облаков ускоренных частиц в гравитационном поле черной дыры. Профили вспышек отражают структуру гравитационного поля вблизи горизонта событий.

- Проанализирована совокупность наблюдательных данных различных диапазонов для объекта MACHO-1999-BLG-22. В рамках развитой модели аккреции показано, что одна из моделей данного объекта (близкая массивная черная дыра) может быть отвергнута. Сделан вывод, что масса черной дыры меньше 130 солнечных, в то время как расстояние – больше 500 пк. По наблюдениям на 6-м телескопе САО РАН наложены верхние пределы на переменную компоненту оптического излучения.
- Проведен поиск на 6-м телескопе САО РАН быстрой переменности у объекта-кандидата в черные дыры звездных масс – радио и рентгеновского источника с континуальным оптическим спектром J1942+10. Показано, что у него отсутствует быстрая переменность с относительной мощностью более 90% в диапазоне $10^{-5} - 10^{-6}$ с, и более 3.5% в диапазоне 0.1 – 1 с
- Проведен поиск на 6-м телескопе САО РАН быстрой переменности у объекта-кандидата в черные дыры звездных масс – радиоисточника с континуальным оптическим спектром 8C 0716+714. Показано, что у него отсутствует быстрая переменность с относительной мощностью более 17% в диапазоне $10^{-5} - 10^{-6}$ с, и более 1.4% в диапазоне 0.1 – 1 с
- Впервые получены жесткие ограничения на вариации моментов прихода оптических импульсов Краба в диапазоне времен 3 с – 1.5 часа, из которых следуют верхние пределы для параметров прецессии на этих временах. Найдено указание на наличие фазовых вариаций, возможно – квазирегулярных, на временах порядка полутора-двух часов. Впервые обнаружено значимое изменение среднего профиля кривой блеска между

разными сетями наблюдений

- Разработан оригинальный алгоритм для поиска, классификации и определения параметров быстрых оптических транзиентов в реальном времени при мониторинговых наблюдениях с широкопольными телескопами высокого временного разрешения и реализовано соответствующее программное обеспечение для быстрых широкопольных камер FAVOR и TORTORA. Разработано математическое обеспечение, с помощью которого реализован режим совместной работы быстрой широкопольной камеры TORTORA и роботического телескопа REM (комплекс TORTOREM). Система расположена в обсерватории Ла-Силла (Чили) и работает в автоматическом режиме с мая 2006 г.
- Впервые проведены наблюдения областей локализации гамма-всплесков (GRB 060719, GRB 061202 и GRB 061218) с временным разрешением 0.13 секунды через 1-2 минуты после события. Получены ограничения на переменную компоненту оптического излучения на временах 0.13 - 100 секунд на уровне 14-16 звездной величины в полосе, близкой к В.

Практическая ценность

- Развитая модель аккреции может использоваться при анализе состава и пространственной структуры фонового излучения галактик, проверки гипотез о природе различных пекулярных объектов, обнаруживаемых в различных спектральных диапазонах.
- Развитые методы анализа панорамных данных используются в эксперименте МАНИЯ как стандартная система обработки фотометрической, спектральной и поляриметрической информации, полученной в режиме счета фотонов; они могут применяться при анализе любых последовательностей дискретных событий.
- Результаты поиска сверхбыстрой переменности послужат для определения природы изученных пекулярных объектов разных типов.

- Картина динамики оптического излучения пульсара в Крабе на разных временных шкалах послужит серьезным основанием для продвижения в понимании физических свойств как собственно нейтронных звезд, так и их магнитосфер.
- Созданное математическое обеспечение для обнаружения и исследования быстрых оптических транзиентов в широких полях уже используется на нескольких инструментах при поиске оптических компаньонов гамма-всплесков, а также при изучении переменных звезд, метеоров и искусственных небесных тел.

На защиту выносятся

1. Теория сферической аккреции межзвездного вещества с замороженным магнитным полем на одиночные черные дыры звездных масс, учитывающая возможность дискретного характера процессов диссипации магнитной энергии. Эти процессы приводят к формированию сильнопеременной компоненты излучения в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, характеристики которой связаны со структурой гравитационных и магнитных полей вблизи горизонта событий черной дыры.
2. Методы, алгоритмы и математическое обеспечение для редукции и статистического анализа данных, получаемых при наблюдениях с панорамными счетчиками фотонов в оптическом диапазоне.
3. Результаты поиска быстрой переменности у нескольких объектов-кандидатов в одиночные черные дыры звездных масс, верхние пределы на мощность переменной компоненты в диапазоне $10^{-6} - 1$ с. Ограничения на параметры возможных черных дыр.
4. Результаты исследования динамики кривой блеска пульсара в Крабе по данным в оптическом диапазоне, ограничения на амплитуду возможной прецессии в диапазоне периодов 3.3 с – 1.5 часа. Обнаружение изменения формы кривой блеска и структуры главного и вторичного пульсов

на шкале нескольких лет. Обнаружение признаков вариаций моментов прихода главного пульса с характерным временем полтора-два часа.

5. Разработка методов, алгоритмов и программ для автоматического поиска, идентификации и определения параметров быстрых оптических транзиентов различных типов в реальном времени при мониторинговых наблюдениях с помощью широкоугольных камер высокого временного разрешения. Создание математического обеспечения для реализации совместного функционирования широкопольной камеры и роботического телескопа, образующих двухтелескопный комплекс TORTOREM.

Апробация результатов работы

Результаты работы докладывались автором на научных семинарах САО РАН, обсерватории Брера (Милан, Италия), астрономического отделения Болонского университета (Болонья, Италия), а также были представлены на следующих российских и международных конференциях:

1. V International Conference on cosmoparticle physics “Cosmion – 2001”, May 21-30 2001, Moscow-St.Peterburg, Russia
2. “Black Hole Astrophysics 2002”, Sixth APCTP Winter School, Jan 9-12 2002, Pohang, Korea
3. Всероссийская Астрономическая Конференция (ВАК-2004) “Горизонты Вселенной”, 3-10 июня 2004, Москва
4. 7th Russian Conference on Physics of Neutron Stars, June 27-29, 2005, St.-Petersburg
5. “Gamma-Ray Bursts in the Afterglow Era”, Oct 18 - 22, 2004, Rome, Italy
6. “Relativistic Astrophysics ans Cosmology – Einstein’ Legacy”, Nov 7-11, 2005, Munich, Germany
7. “Isolated Neutron Stars: from the Interior to the Surface”, April 24-28, 2006, London, UK

8. 36th COSPAR Scientific Assembly, July 16 - 23, 2006, Beijing, China
9. “SWIFT and GRBs: Unveiling the Relativistic Universe”, June 5-9, 2006, Venice, Italy
10. IAU XXVIth General Assembly, August 14-25, 2006, Prague, Czech

Публикации и личный вклад автора

Основные результаты диссертации изложены в 14 работах, опубликованных в зарубежных изданиях.

В перечисленных работах автору принадлежат:

- В работах [1-2, 6, 13, 14] – детальное исследование природы нетепловой компоненты плазмы аккреционного потока и разработка методики ее описания, а также вычисления параметров ее переменности. Предсказание наличия быстропеременной жесткой компоненты спектра излучения.
- В работе [10, 14] – разработка методов поиска и анализа быстрой переменности оптических источников, их реализация современными программными средствами и их использование при изучении объектов-кандидатов в одиночные черные дыры.
- В работах [3-5, 7-8, 11] – разработка методики анализа данных, получаемых при наблюдениях с быстрыми широкопольными камерами и алгоритма автоматического выделения и классификации быстрых оптических транзиентов в реальном масштабе времени, а также создание и поддержание соответствующего математического обеспечения, их реализующего.
- В работах [9, 12] – разработка методики анализа стабильности оптического профиля излучения пульсара в Крабовидной туманности и ее применение к результатам наблюдений на БТА и телескопе им. Вильяма Гершеля.

Структура диссертации

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение и Списка литературы. Она содержит 180 страниц, 55 рисунков, 11 таблиц. Список литературы

насчитывает 185 наименований.

Содержание работы по главам

Введение

Во введении обсуждаются актуальность работы, цели и задачи исследования, научная новизна, научная и практическая значимость работы, а также приводится список работ, в которых опубликованы результаты диссертации с указанием личного вклада автора в совместных публикациях.

Глава 1: Наблюдательные проявления одиночных аккрецирующих черных дыр звездной массы

Первая глава посвящена развитию теории сферической аккреции на одиночные черные дыры звездных масс. Вначале приводится обзор современного состояния вопроса и показывается важность теоретического исследования наблюдательных проявлений подобных объектов. Затем рассматриваются условия в аккреционном потоке и показывается важность учета процессов диссипации магнитной энергии. Предлагается конкретная модель этого явления – дискретные перезамыкания магнитных силовых линий в турбулентных токовых слоях. Показывается, как при достаточно общих предположениях может быть рассчитан профиль энергетического распределения электронов, вычислена светимость и получена форма спектра излучения аккреционного потока. Демонстрируется, что излучение электронов, ускоренных в токовых слоях, приводит к формированию отдельной компоненты энергетического распределения и появлению заметной доли жесткого излучения. Кроме того, принятие дискретного механизма диссипации магнитной энергии позволяет определить свойства переменности излучения аккреционного потока – пучки ускоренных при перезамыканиях магнитных силовых линий в турбулентных токовых слоях электронов генерируют очень короткие вспышки, несущие информацию об окрестностях горизонта событий.

Глава 2: Обработка данных, получаемых в режиме счета фотонов

Во второй главе приводится сводка современных методов анализа данных высокого временного разрешения (как широко используемых в наблюдательной астрофизике, так и специально разработанных), получаемых при наблюдениях со счетчиками фотонов, как в панорамном, так и в одноканальном режимах. Рассматриваются методы поиска быстрой переменности (на временах вплоть до 1 мкс), основанные на использовании преобразования Фурье (построение “спектра мощности”), а также на анализе распределения интервалов между последовательными квантами (метод y_2 -функций, см. Шварцман (1977)).

Особое внимание уделяется различным аспектам анализа данных, получаемых при оптических наблюдениях пульсаров. Описывается методика исследования стабильности времен прихода импульсов, основанная на кросс-корреляции набора кривых блеска, получаемых по коротким сегментам данных, с опорным профилем излучения. Изучаются статистические свойства подобной оценки, показывается, что она является несмещенной и состоятельной.

Также описываются принципы организации универсальной системы редукции подобных данных, применяемой в штатном режиме при анализе информации, получаемой при наблюдениях с панорамными фотонными детекторами 6-м телескопа САО РАН.

Глава 3: Наблюдения объектов-кандидатов в одиночные черные дыры звездных масс

Глава посвящена исследованию объектов-кандидатов в одиночные черные дыры звездных масс на основании результатов наблюдений на 6-м телескопе САО РАН с использованием координатно-чувствительного детектора. Вначале приводится сводка критериев отбора подобных объектов, как использованных на начальном этапе эксперимента МАНИЯ (Шварцман 1977; Shvartsman, Beskin & Pustilnik 1989; Shvartsman, Beskin & Mitronova 1989), так и современных. Затем приводятся результаты исследования трех объектов различных

классов.

Первый объект – 8C 0716+714 – является радиообъектом с оптическим спектром, не имеющим линий, переменным на всех временах от десятков лет до десятков минут (Raiteri et al 2003). Наблюдательные проявления объекта позволяют отнести его к классу блазаров (Biermann et al 1981), однако вопрос о его внегалактическом происхождении (фактически – об обнаружении подстилающей галактики) до сих пор остается открытым; возможна также интерпретация его как галактического объекта звездной массы. Выбор между этими двумя вариантами может быть проведен на основании анализа быстрой переменности излучения. Проведенные наблюдения позволили получить ограничения на относительную мощность переменной компоненты оптического излучения на шкале от 10^{-6} с до 0.1 с на уровне от 17% до 1.4% соответственно, что согласуется с моделью источника как внегалактического объекта с излучающими струйными выбросами.

Второй объект, кандидат в черные дыры J1942+10, был отобран как имеющий заметное радио и рентгеновское излучение и континуальный (не имеющий особенностей) оптический спектр, а также существенную переменность на больших временах (Tsarevsky et al 2005), что совпадает с ожидаемыми наблюдательными проявлениями сферически-симметричного аккреционного потока, полученными в Главе 1. Проведенные наблюдения позволили получить ограничения на относительную мощность переменной компоненты излучения на шкале от 10^{-6} с до 1 с на уровне от 92% до 3.4% соответственно. Таким образом, указаний на то, что этот объект может являться одиночной черной дырой звездной массы, обнаружено не было.

Последний из исследуемых объектов – гравитационная линза MACSO-99-BLG-22 – является наиболее надежным на данный момент кандидатом в одиночные черные дыры (Mao et al 2001; Bennett et al 2001), для которого установлена связь между массой и расстоянием до объекта, а также оценена его скорость. Более того, сопоставление данных о линзе, получаемых из анализа кривой возрастания блеска, с кинематической моделью Галактики позволяет определить три наиболее вероятных конфигурации этого объекта – на расстояниях от наблюдателя 500 пк, 2 кпк и 6 кпк с массами $130 M_{\odot}$, $27 M_{\odot}$ и

$3.5 M_{\odot}$ соответственно (Bennett et al 2001; Agol et al 2002).

В этой части главы на основании привлечения публично доступных данных космических телескопов Hubble (оптический диапазон) и XMM-Newton (рентгеновский диапазон) получают ограничения на параметры возможной черной дыры в рамках развитой в Главе 1 модели генерации ее излучения при сферической аккреции. Кроме того, по данным наблюдений на 6-м телескопе определяются верхние пределы на относительную мощность переменной компоненты излучения на временах от 10^{-6} с до 1 с. Совокупность этих данных позволяет отвергнуть одну из моделей объекта – близкую массивную черную дыру, тогда как анализ двух оставшихся вариантов требует существенно более длительных наблюдений.

Глава 4: Исследование стабильности кривой блеска оптического излучения пульсара в Крабовидной туманности

В четвертой главе приводятся результаты анализа стабильности кривой блеска оптического излучения пульсара в Крабовидной туманности по данным наблюдений на 6-м телескопе САО РАН и 4.2-м телескопе им. Вильяма Гершеля (La-Palma, Канарские острова) с использованием различных счетчиков квантов, как панорамных (Debur et al 2003), так и одноканальных (Ryan, Redfern & Shearer 2006).

Исследование вариаций времен прихода импульсов описанным в Главе 2 методом позволяет получить жесткие верхние пределы на возможные периодические вариации на временах от 3.3 секунды до 1,5 часа. Не найдено указаний на наличие вариаций фазы с периодом около 60 секунд, о которых сообщалось в работе Cadez et al (2001). В то же время, обнаруживаются вариации моментов прихода импульсов на шкале, сравнимой с длительностью интервала наблюдений (полтора-два часа) с амплитудой около нескольких микросекунд. Сравнение величины этого эффекта с известными по радионаблюдениям параметрами “временного шума” (степенной спектр с показателем -3.09 в интервале времен от нескольких лет до нескольких суток, см. Scott, Finger & Wilson (2003)) показывает существенное превышение наблюдаемой амплитуды над ожидаемой, что может свидетельствовать о наличии отдель-

ной (возможно – квазипериодической) компоненты шума на этих временах.

Проводится сравнение интегральных профилей кривой блеска, полученных при наблюдениях в разные годы и показывается, что существуют значимые их вариации, которые можно интерпретировать как изменение формы главного и вторичного пульсов, а также расстояния между ними.

Глава 5: Поиск быстрых оптических транзиентов при мониторинговых наблюдениях с использованием быстрых широкопольных камер

Глава посвящена описанию методологии проведения мониторинговых наблюдений с широкопольными камерами, предназначенными для поиска и исследования быстрых оптических транзиентов в реальном масштабе времени. Вначале рассматриваются общие требования к подобным наблюдательным программам и показывается необходимость использования приборов высокого временного разрешения.

Затем описываются технические характеристики двух разработанных при участии САО РАН быстрых широкопольных камер и рассматриваются требования к математическому обеспечению, вытекающие из конструктивных особенностей этих приборов и специфики режимов мониторинга.

Предлагается алгоритм автоматического выделения и классификации транзиентных событий и описывается его конкретная реализация, а также структура математического обеспечения быстрых широкопольных камер высокого временного разрешения FAVOR и TORTORA.

В завершение главы, приводятся результаты наблюдений областей локализации трех гамма-всплесков и определяются верхние пределы на уровень переменной компоненты излучения их оптических компаньонов на шкале нескольких минут после гамма-вспышки.

Заключение

В заключении формулируются основные выводы диссертации и приводятся результаты, выносимые на защиту.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. G. Beskin & S. Karpov. "Accretion of magnetized gas onto a single stellar mass black hole", *Gravitation and Cosmology Suppl.*, 2002, 8, 182
2. G. Beskin & S. Karpov. "Observational appearance of magnetic field lines reconnections in single black hole accretion flow", in "Black Hole Astrophysics 2002", edited by H.K.Lee and G.-M.Park, World Scientific, 2002.
3. A. Biryukov, G. Beskin, S. Bondar, K. Hurley, E. Ivanov, S. Karpov, E. Katkova, A. Pozanenko, I. Zolotukhin. "Software for detection of optical transients in observations with rapid wide-field camera", *Astron. Nachr./AN*, 2004, 325, 6/8, 676
4. S. Karpov, D. Bad'in, G. Beskin, A. Biryukov, S. Bondar, G. Chuntunov, V. Debur, E. Ivanov, E. Katkova, V. Plokhotnichenko, A. Pozanenko, I. Zolotukhin (Russia); K. Hurley (USA); E. Palazzi, N. Masetti, E. Pian, L. Nicastro, C. Bartolini, A. Guarnieri, D. Nanny, A. Piccioni (Italy); N. Brosch, D. Eichler (Israel); A. Shearer, A. Golden, M. Redfern (Ireland); J.-L. Atteia, M. Boer (Freance). "FAVOR (FAst Variability Optical Registration) - two-telescope complex for detection and investigation of short optical transients", *Astron. Nachr./AN*, 2004, 325, 6/8, 677
5. I. Zolotukhin, G. Beskin, A. Biryukov, S. Bondar, K. Hurley, E. Ivanov, S. Karpov, E. Katkova and A. Pozanenko. "Optical camera with high temporal resolution to rearch for transients in the wide field", *Astron. Nachr./AN*, 2004, 325, 6/8, 675
6. Beskin G.M., Karpov S.V. "Low-rate accretion onto isolated stellar mass black holes", *Astronomy and Astrophysics*, 2005, 440, 223
7. S. Karpov, G. Beskin, A. Biryukov, S. Bondar, K. Hurley, E. Ivanov, E. Katkova, A. Pozanenko, I. Zolotukhin. "Optical camera with high temporal resolution to search for transients in the wide field", *Nuovo Cimento C*, 2005, 28, issue 04-05, 747

8. G. Beskin, V. Bad'in, A. Biryukov, S. Bondar, G. Chuntunov, V. Debur, E. Ivanov, S. Karpov, E. Katkova, V. Plokhotnichenko, A. Pozanenko, I. Zolotukhin, K. Hurley, E. Palazzi, N. Masetti, E. Pian, L. Nicastro, C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, P. Conconi, E. Molinari, F. M. Zerbi, N. Brosch, D. Eichler, A. Shearer, J.-L. Atteia, M. Boer. "FAVOR (FAst Variability Optical Registration) - A two-telescope complex for detection and investigation of short optical transients", *Nuovo Cimento C*, 2005, 28, issue 04-05, 751
9. Biryukov A., Beskin G., Karpov, S., Shearer, A., "Short time scale pulse stability of the Crab pulsar in the optical band", *Advances in Space Research*, 2006, in press
10. Biryukov A., Beskin G., Karpov, S., "Observational appearances of isolated stellar-mass black hole accretion - theory and observations", *Advances in Space Research*, 2006, in press
11. E. Molinari, S. Bondar, S. Karpov, G. Beskin, A. Biryukov et al. "TORTOREM - Two-telescope complex for detection and investigation of optical transients", *Il Nuovo Cimento*, 2006, in press
12. S. Karpov, G. Beskin, et al. "Short time scale pulse stability of the Crab pulsar in the optical band", *Ap&SpSci*, 2006, in press
13. S. Karpov & G. Beskin. "Observational manifestations of accretion onto isolated black holes of different masses", *Proceedings of IAU Symposium No.238 "Black Holes: from Stars to Galaxies – across the Range of Masses"*, edited by V. Karas & G. Matt, 2007, in press.
14. G. Beskin, V. Debur, S. Karpov, V. Plokhotnichenko & A. Biryukov. "Search for the event horizon evidences by means of optical observations with high temporal resolution", *Proceedings of IAU Symposium No.238 "Black Holes: from Stars to Galaxies – across the Range of Masses"*, edited by V. Karas & G. Matt, 2007, in press.

Цитируемая литература

- Beskin, G.M., Komarova, V.N., Neizvestny, S.I. et al. 1997, ExA, 7, 413
- Шварцман, В. 1971, Астрон.Ж. 48, 438.
- Shvartsman, V.F., Beskin, G.M., & Mitronova, S.N. 1989b, Astron. Report Letters, 15, 145
- Shvartsman, V.F., Beskin, G.M., & Mitronova, S.N. 1989b, Astron. Report Letters, 15, 145
- Pacini, F. 1971, ApJ 163, 17-19
- Nasuti, F.P., Mignani, R., Caraveo, P.A. & Bignami, G.F. 1996, A&A 314, 849-852
- Kuiper, L., Hermsen, W., Walter, R. & Foschini, L. 2003, A&A, 411, 31
- Rots, A.H., Jahoda, K. & Lyne, A.G. 2004, ApJ, 605, 129
- Шварцман, В. 1977, Сообщения САО 19, 3
- Shvartsman, V.F., Beskin, G.M., & Pustilnik, S.A. 1989, Afz, 31, 457
- Shvartsman, V.F., Beskin, G.M., & Mitronova, S.N. 1989b, Astron. Report Letters, 15, 145
- Raiteri, C. M., et al. 2003, A&A 402, 151
- Biermann, P., et al. 1981, ApJ 247, L53
- Tsarevsky, G., de Freitas Pacheco, José A., Kardashev, N., de Laverny, P., Thévenin, F., Slee, O. B., Stathakis, R. A., Barsukova, E., Goransky, V., Komberg, B. 2005, A&A 438, 949
- Mao, S. et al. 2002, MNRAS 329, 349
- Bennett, D.P., Becker, A.C., Calitz, C.C. et al. 2002, ApJ579, 639
- Agol, E., Kamionkowski, M., Koopmans, V.E., & Blandford, R.D. 2002, ApJ576, 131
- V. Debur, et al. 2003, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 513, 127-131
- Ryan, O., Redfern, M. & Shearer, A. 2006, Exp.Astron. 21, 23
- Cadez, A., et al. 2001, A&A 366, 930-934
- Scott, D.M., Finger, M.H., & Wilson, C.A. 2003, MNRAS 344, 412-430

Бесплатно

С.В. Карпов

Наблюдательные проявления
быстропеременных релятивистских объектов

Зак. N177с Уч. изд. л. – 1.0 Тираж 100
Специальная астрофизическая обсерватория РАН