

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

УДК 524.354 + 524.33

БЕСКИН ГРИГОРИЙ МЕЕРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ
И НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 01. 03. 02 – астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Нижний Архыз – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Специальной астрофизической
обсерватории Российской академии наук

Официальные оппоненты: профессор,
доктор физико-математических наук
Бескин Василий Семенович
(Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН)

профессор,
доктор физико-математических наук
Гнедин Юрий Николаевич
(Пулковская астрономическая обсерватория РАН)

профессор,
доктор физико-математических наук,
академик РАН
Черепашук Анатолий Михайлович
(Государственный Астрономический Институт им.
Штернберга, МГУ)

Ведущая организация: Южный Федеральный Университет

Защита состоится «_____» _____ 2012 г. в «_____» часов на
заседании Диссертационного совета Д 002.203.01 в Специальной
астрофизической обсерватории Российской Академии Наук по адресу 369167
САО РАН, пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская республика, Россия

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН

Автореферат разослан «_____» _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Е.К. Майорова

Общая характеристика работы

Актуальность темы

В некотором смысле в начале 70-х годов в астрономии родилось новое направление исследований. Г. Бонди в статье «Астрономия будущего» [1] обратил внимание научной общественности на практически неизученную область – быстрые вариации оптического излучения астрофизических объектов, известной и не известной локализации – «Short-constant astronomy». Практически в это же время Викторий Шварцман сформулировал критический текст для обнаружения черных дыр (ЧД) звездной массы [2] – переменность излучения аккрецирующей на ЧД плазмы с характерными временами $\tau_v \sim r_g/c \sim 10^{-5}$ с. Вскоре он поставил широкий круг задач по исследованию релятивистских и быстропеременных объектов разных типов с высоким временным разрешением [3] – так начался эксперимент МАНИЯ (Многоканальный Анализ Наносекундных Изменения Яркости), который проводится в САО РАН с 1972 года. В его рамках и выполнялась представленная к защите работа. Разумеется, со времени своего возникновения астрономия (астрофизика) высокого временного разрешения* из направления, о будущем которого было очень трудно судить [1], превратилась в обширную область науки со своими специфическими инструментами и детекторами (обеспечивающими однофотонную регистрацию), методами накопления и анализа данных (учитывающими гигантские объемы последних) и, конечно, в первую очередь, – с особыми нестандартными физическими (астрофизическими) задачами. Речь здесь идет об изучении экстремальных состояний (не реализуемых в земных условиях), для которых характерны предельные напряженности магнитного ($H \sim 10^5-10^{13}$ Гс) и гравитационного ($\phi/c^2 \rightarrow 1$) полей, высокие температуры (10^7-10^{12} °К), скорости ($\gamma \sim 1-10^7$) и плотности вещества (вплоть до 10^{16} г/см³). Астрономические объекты, где такого рода условия реализуются, относятся к релятивистским объектам (иногда их называют «компактными», подчеркивая и минимальность их размеров в астрономии) – черным дырам и нейтронным звездам. Феноменологически они проявляются как пульсары, эжектирующие и аккрецирующие, рентгеновские источники разных типов в тесных двойных системах, гамма-всплески. Отметим для полноты картины, что черные дыры,

* Мы (весьма условно!) не относим сюда спекл-интерферометрию, где высокое временное разрешение является средством для достижения высокого пространственного разрешения

как конфигурации, ограниченные горизонтом событий (ГС), в некотором смысле еще не открыты, – на данный момент нет однозначных свидетельств обнаружения проявлений ГС [4]. И в ядрах активных галактик, и в тесных двойных рентгеновских системах, где присутствие черных дыр является практически общепризнанным, регистрируются фотоны разных энергий, рождающиеся, однако, весьма далеко от ГС – на расстояниях 10-100 r_g [5, 6], окрестности же ГС экранируются аккрецирующим веществом. В то же время нестационарные процессы в «обычных» переменных звездах могут быть релятивистскими. Так, например, есть основания полагать, что вспышки красных карликов связаны с потоками релятивистских электронов ($\gamma \sim 10^3$) [7, 8]. Общим свойством экстремальных состояний, процессов, объектов в астрофизике является взаимная трансформация различных видов энергии полей и частиц – магнитной, электрической, кинетической (поступательной и вращательной). В силу высокой степени компактности объемов, где происходят эти преобразования, высоких скоростей движения вещества характерные временные шкалы могут достигать весьма малых величин, вплоть до $10^{-5} - 10^{-6}$ с. А поскольку в конечном итоге именно излучение (и лишь оно!) этих объектов изучается в прямых экспериментах, то вариации его интенсивности должны исследоваться с предельно высоким временным разрешением. При этом, разумеется, должен определяться максимальный набор параметров фотонов, их спектральные и поляризационные характеристики.

Необходимо подчеркнуть, что, несмотря на почти 50-летнюю историю изучения упомянутых явлений и объектов, понимание их природы, физических особенностей весьма далеко от полноты и однозначности. Представляется, что отчасти эта ситуация обусловлена разрывом между глубиной и многообразием теоретических построений в астрофизике, многие из которых не доведены до формулировки *experimentum crucis*, и ограниченностью возможностей существующих наблюдательных систем и методов высокого временного разрешения. В частности, весьма скудна статистика вспышек звезд типа UV Cet, зарегистрированных с временным разрешением лучше 10 с [7]. В силу этого пока нет возможности определиться с ролью нетепловых процессов в оптическом диапазоне, процессами ускорения электронов и протонов, механизмами «запуска» вспышечных явлений [8]. До сих пор не утихли дискуссии о характере аккреции в различного типа рентгеновских двойных системах, соотношении тепловых и нетепловых процессов при генерации излучения в разных диапазонах [9]. Результаты

многочастотных исследований пульсара в Крабовидной туманности (имеющего блеск около 15^m !) до сих пор не позволили ответить на самые простые вопросы:

- где и как генерируются фотоны разных энергий и какова связь между их характеристиками?

- каковы параметры (плотность, скорость движения) плазмы в магнитосфере?

- каковы конкретные механизмы ее ускорения?

Более того, некоторые последние теоретические [10] и экспериментальные результаты (обнаружение пульсирующего излучения с энергией выше 100 Гэв в [11]) свидетельствуют о необходимости кардинального пересмотра сложившихся модельных представлений.

Особое место в астрофизике высокого временного разрешения занимает проблема тестирования теорий гравитации в сильных гравитационных полях. Есть основания полагать, что лишь обнаружение горизонта событий (или доказательство его отсутствия) у релятивистских объектов с массой, превышающей предел ОТО для нейтронных звезд и исследование свойств пространства-времени вблизи него позволит сделать выбор из «выживших» при проверке в слабых полях теорий [4]. В. Шварцман показал, что роль такого полигона могут играть одиночные черные дыры (массивные нейтронные звезды Бранса – Дикке?), поскольку при аккреции межзвездного газа из-за ее низкого темпа горизонт событий (или поверхность НЗ) не экранируется [2]. Собственно, обнаружение стохастической оптической переменности на временах 10^{-6} – 10^{-2} с у объектов – кандидатов в ЧД и является целью эксперимента МАНИЯ и настоящей работы [3, 6]. Отметим, что надежды «подойти вплотную» к ГС с помощью рентгеновской спектроскопии компактных объектов в тесных двойных системах пока не оправдались – слишком многое зависит от выбора модели аккреции [4]. Эта задача, возможно, будет решена в будущих рентгеновских миссиях IXO и XEUS, где будет реализовано высокое временное разрешение спектральных данных [4].

Наконец, переходя к гамма-всплескам, чья релятивистская природа не вызывает сомнений, укажем, что с большой вероятностью лишь обнаружение и исследование с высоким временным разрешением синхронных с гамма-эмиссией оптических вспышек может позволить построить детальную модель «центральной машины» и (будем надеяться!) обнаружить признаки горизонта событий [12]. Прямым подтверждением этих надежд явилось обнаружение нами оптической вспышки GRB 080319B (Naked Eye Burst), которое сразу привело к пересмотру многих сложившихся представлений о природе гамма-всплесков [12, 13]. Особо подчеркнем, что в настоящее время лишь в

оптическом диапазоне можно измерять поляризацию излучения всплеска – критическую характеристику для выбора механизмов его генерации [14].

Судя по всему, начатый В. Шварцманом эксперимент МАНИЯ [3] действительно открыл новое направление в астрономии, о котором упоминал Г. Бонди [1], и которое сейчас получило название High Time Resolution Astrophysics [15].

В заключение отметим, актуальность представляемой к защите работы подтверждается включением аналогичных исследований (по объектам, задачам и методам) в будущие программы наблюдений на ELT [16].

Цель работы

Общей целью работы является исследование нестационарных явлений в релятивистских и быстропеременных (вспыхивающих) объектах с высоким временным разрешением вплоть до 10^{-6} с. Изучались вспышки красных карликов типа UV Cet, маломассивные рентгеновские двойные разных морфологических типов (содержащие нейтронные звезды и вероятные черные дыры), молодые радиопульсары, предварительно отобранные объекты – кандидаты в одиночные черные дыры, наконец, была разработана и реализована в наблюдениях методика поиска оптических вспышек, сопровождающих гамма-всплески. Можно выделить некие общие черты, характеризующие нестационарные явления в этих различных объектах. На наш взгляд, к ним относятся наличие неоднородной замагниченной плазмы, как среды, в которой генерируется излучение; сильное неоднородное магнитное поле, являющееся аккумулятором гравитационной, механической и тепловой энергии и трансформирующее ее в энергию частиц; плазменные неустойчивости разных типов как механизмы преобразования энергии. Совокупность этих взаимозависимых компонентов образует сложную систему с нелинейными обратными связями, универсальным образом самоорганизованную, и поэтому имеющую сходные внешние признаки в разных астрофизических ситуациях. Нестационарность (и, в частности, переменность генерируемого излучения) является внутренне присущим таким системам (объектам) свойством. Другая группа сходных факторов, обуславливающих наблюдаемые вариации интенсивности регистрируемого излучения у различных объектов, – т.н. геометрические эффекты. Они связаны с комбинацией направленных движений частиц в объекте (джеты, пучки, токи), направленности самого излучения (например, диаграммы пульсаров и гамма-всплесков, пространственные распределения интенсивности излучения как

результат действия гравитационных линз) и изменения со временем этих выделенных направлений относительно наблюдателя (импульсы пульсаров, микролинзирование). Эти эффекты также имеют сходный характер у объектов разных типов, пульсаров, черных дыр, источников гамма-всплесков, и могут регистрироваться и анализироваться в рамках единого методического подхода.

Для изучения этих явлений и были определены конкретные цели работы.

1. Проведение на 6-метровом телескопе мониторинга нескольких звезд типа UV Cet с максимальной по литературным данным частотой вспышек. Исследование тонкой структуры зарегистрированных событий с временным разрешением около 10^{-6} с, определение минимальной длительности выделяемых элементов кривых блеска. Анализ общих статистических свойств однородной выборки зарегистрированных вспышек, их интерпретация в рамках существующих представлений о механизмах активности красных карликов.

2. Многополосная фотометрия нескольких маломассивных рентгеновских двойных на 6-метровом телескопе CAO и 2.15-метровом телескопе обсерватории CASLEO (Аргентина) с временным разрешением 10^{-6} с. Поиск переменности излучения этих объектов и интерпретация ее характеристик в рамках моделей аккреции на релятивистские компоненты рентгеновских двойных.

3. Развитие теоретического описания сферической аккреции на одиночные черные дыры звездных масс с учетом конкретных механизмов диссипации магнитного поля, анализ возможных наблюдательных проявлений этих процессов.

4. Поиск на 6-метровом телескопе переменности блеска на временах 10^{-6} – 10^2 секунд у нескольких десятков объектов, отобранных в качестве возможных одиночных черных дыр из-за отсутствия линий в оптических спектрах, сочетающегося с большими собственными движениями (DC-карлики), особенностями радиоспектров (РОКОСы), одновременным излучением в радио и рентгеновском диапазонах, а также из-за большой величины массы при аномально низкой светимости (МАСНО). Интерпретация полученных результатов в рамках теоретических представлений о наблюдательных проявлениях черных дыр.

5. Исследование кривой блеска пульсара в Крабовидной туманности с временным разрешением около 1 мкс в нескольких фотометрических полосах для определения ее формы, выяснения степени стабильности (регулярной и стохастической), определения фазовых вариаций цвета. Поиск пульсирующего

оптического излучения у двух гамма и радио пульсаров среднего возраста Geminga и PSR 065+14, выяснение механизма его генерации.

6. Анализ возможностей использования эффектов гравитационного линзирования и микролинзирования для поиска и исследования переменных релятивистских объектов – черных дыр в парах с белыми карликами (микролинзирование в двойных системах) и оптических вспышек, сопровождающих гамма-всплески (повторное линзирование на промежуточных галактиках).

7. Развитие и реализация методов широкоугольного оптического мониторинга с высоким временным разрешением для независимого обнаружения и исследования оптических транзиентов, сопровождающих гамма-всплески.

Научная новизна работы

1. Впервые была получена однородная выборка кривых блеска более сотни вспышек нескольких звезд типа UV Cet в U-полосе с временным разрешением $3 \cdot 10^{-7}$ с. Впервые был проведен поиск тонкой временной структуры вспышечного излучения этих объектов и установлены верхние пределы на амплитуды ее элементов на временах $10^{-6} - 1$ с. Самые быстрые стадии вариаций блеска длительностью 0.3-0.8 относятся к передним фронтам четырех самых коротких событий (полная продолжительность 2-4 с). Впервые было показано, что этот результат согласуется с предсказаниями тепловой газодинамической модели генерации вспышек.

2. Впервые были проведены наблюдения около десятка маломассивных рентгеновских двойных систем с временным разрешением 10^{-6} с, и получены для большинства из них ограничения на амплитуду переменности в диапазоне времен $10^{-6} - 10^2$ с. У двух объектов (A0620-00 и MXB 1735-44) были впервые обнаружены несколько вспышек (4 и 2 события, соответственно) с минимальными временами вариации блеска 0.1-5 миллисекунд, что соответствует нижним границам яркостных температур $10^9 - 10^{11}$ °К. У рентгеновской новой GRO J0422+32 была впервые обнаружена переменность блеска на временах $2 \cdot 10^{-3} - 100$ с в яркой фазе ее вспышки, минимальные длительности спайков соответствуют яркостным температурам $T_b > 10^9$ °К, что, по-видимому, является признаком реализации в системе (по крайней мере, изредка!) нетепловых механизмов генерации оптического излучения.

3. Впервые получена кривая блеска пульсара в Крабовидной туманности в разные эпохи с максимальным временным разрешением 3.3 микросекунды, что

дало возможность установить ограничения на ее тонкую структуру, изучить стабильность ее формы, исследовать вариации цвета в зависимости от фазы периода объекта. Использование в наблюдениях панорамного счетчика фотонов в сочетании с дихроичными фильтрами позволило впервые определить спектральные характеристики излучения пульсара во внеимпульсном интервале кривой блеска.

4. Впервые обнаружено пульсирующее оптическое излучение у двух пульсаров среднего возраста – GEMINGA и PSR 0656+14, тем самым выборка оптических пульсаров была увеличена на 70%.

5. Впервые развита модель сферической аккреции на одиночные черные дыры звездных масс с учетом конкретных механизмов диссипации магнитного поля и сохранения магнитного адиабатического инварианта. В ее рамках получены оценки характеристик излучения аккрецирующей плазмы и его вспышечной компоненты.

6. Впервые проведены поиски переменности блеска на временах 10^{-6} – 10^2 с у нескольких десятков объектов – кандидатов в одиночные черные дыры. Получены ограничения на амплитуды вспышек, которые могли бы генерироваться вблизи горизонта событий.

7. Проанализирована роль эффектов гравитационного линзирования как средства для обнаружения релятивистских объектов. Были впервые получены корректные оценки вероятности наблюдать микролинзирование излучения белого карлика в паре с черной дырой и нейтронной звездой, впервые предложена методика поиска таких эффектов в реальных наблюдениях. Впервые сформулирована идея использования многократного гравлинзирования излучения гамма-всплесков для изучения оптических вспышек, сопровождающих гамма-излучение, а возможно, и опережающих его.

8. Впервые предложены различные методики поиска оптических транзиентов, сопровождающих гамма-всплески, в широкоугольных наблюдениях с детекторами высокого временного разрешения. Такой мониторинг должен проводиться независимо от результатов обнаружения вспышек гамма-телескопами.

9. Впервые получена детальная кривая блеска (с разрешением 0.13 с) оптической вспышки, сопровождающей гамма-всплеск GRB 080319B. Этот результат подтвердил эффективность предложенной стратегии поиска быстрых оптических транзиентов разного происхождения.

10. Впервые развита методика многоканального мониторинга небесной сферы высокого разрешения для изучения оптических транзиентов, сочетающая поисковый и исследовательский (измерение спектральных и поляризационных характеристик обнаруженного транзиента) режимы. Предложены (и частично реализованы) проекты таких инструментов.

Научная и практическая ценность работы

В рамках работы были впервые проведены наблюдения с временным разрешением около 10^{-6} секунды обширной выборки релятивистских и быстропеременных объектов различных типов, а также объектов неизвестной природы – кандидатов в черные дыры звездных масс. Исходные данные и полученные в диссертации результаты могут использоваться для изучения механизмов генерации оптического излучения в процессах трансформации энергии при высоких ее плотностях в компактных объемах. А именно, во вспышках звезд типа UV Cet, при аккреции газа на релятивистские объекты, как одиночные, так и входящие в двойные системы, при ультрарелятивистских движениях частиц в джетах гамма-всплесков и магнитосферах пульсаров. Результаты изучения временной структуры вспышек звезд типа UV Cet были использованы при построении общей картины активности этих объектов, при развитии газодинамической модели генерации вспышек.

Построенная нами модель сферической аккреции на одиночные черные дыры может использоваться (и уже используется) при изучении происхождения, состава и структуры фонового излучения галактик, при исследовании природы различных пекулярных объектов (ULX, например).

Обнаруженные нами свидетельства отклонений от предсказаний теории стандартной газодинамической аккреции в рентгеновских двойных должны учитываться при ее развитии и модификации.

Полученные данные о тонкой временной структуре кривой блеска пульсара в Крабовидной туманности, стабильности ее формы, вариациях цвета в ее разных фазах должны получить интерпретацию при построении самосогласованной модели этого объекта.

Исчерпывающее решение задачи об эффектах микролинзирования в двойных системах с черными дырами и белыми карликами позволит ставить программы наблюдений по поиску таких объектов в рамках широкоугольных обзоров (например, LSST).

Разработанные нами методы поиска оптических транзиентов в широкоугольном мониторинге высокого временного разрешения используются

для изучения метеорных потоков, наблюдений за спутниками. Запланировано их развитие в рамках программ контроля космического пространства для предотвращения космических угроз. Проводится модификация некоторых проектов исследования гамма-всплесков на основе наших результатов (например, «Pi of the Sky»).

Впервые полученная нами информация высокого временного разрешения об оптической вспышке, сопровождающей гамма-всплеск GRB 080319B, послужила стимулом для пересмотра сложившихся представлений о физике всплесков и развития новых моделей.

Апробация работ

Результаты работы были представлены на следующих 51-й всесоюзных, всероссийских и международных конференциях:

Всесоюзные конференции по гравитации (Минск, 1976; Москва, 1981); Всесоюзная школа «Актуальные проблемы астрофизики» (Лиманчик, 1979); Международный симпозиум по вспыхивающим звездам (Бюрокан, 1984); Всесоюзное совещание по релятивистской астрофизике (Киев, 1985); Международные конференции «Физика нейтронных звезд» (Ленинград 1988, 1994, 2005); Всесоюзное совещание по переменным звездам (Одесса, 1993); Симпозиум MAC N165 (Нидерланды, Гаага, 1994); Конференция «The Evolution of X-ray Binaries» (Мериленд, США, 1994); Международная конференция «Космион-94» (Москва, 1994); Коллоквиум MAC N151 (Зоннеберг, ФРГ, 1994); Пятая конференция ADASS (Таксон, США, 1995); Коллоквиум MAC N158 (Англия, Киль, 1995); 7-е Межрегиональное Азиатско-Тихоокеанское совещание (Южная Корея, Пусан, 1996); JENAM-1996 (Италия, Таормина, 1996.); Коллоквиум MAC N161 (Италия, Капри, 1996); Четвертый симпозиум по гамма-всплескам (США, Хантсвилл, 1997); Девятнадцатый Техасский симпозиум по релятивистской астрофизике и космологии (Франция, Париж, 1998); Конференция «Гамма-всплески в эпоху послесвечений» (Италия, Рим, 1998); Конференция по рентгеновской астрономии (Италия, Рим, 1999); Коллоквиум MAC N177 (ФРГ, Бонн, 1999); Пятый симпозиум по гамма-всплескам (США, Мериленд, 1999); Совещание «Пограничные объекты в астрофизике и физике частиц» (Италия, Вулкано, 2000); Конференция «Гамма-всплески в эпоху послесвечений» (Италия, Рим, 2000); Конференция «Астрономия гамма-всплесков и послесвечений 2001» (США, Вудс Хоул, 2001); Шестая зимняя школа APSTR (Корея, Пусан, 2002); Конференция ADASS XII (США, Балтимор, 2002); Конференция «Гамма-всплески: 30 лет

открытия» (США, Санта-Фе, 2003); Конференция COSPAR-35 (Франция, Париж, 2004); Третье совещание по роботической астрономии (ФРГ, Потсдам, 2004); 22-й Техасский симпозиум по релятивистской астрофизике (США, Стенфорд, 2004); Конференция «Гамма-всплески в эпоху послесвечений» (Италия, Рим, 2004); Конференция ADASS XIV (США, Пасадена, 2004); Конференция «Релятивистская астрофизика и космология – наследие Эйнштейна» (ФРГ, Мюнхен, 2005); Ассамблея COSPAR-36 (Китай, Пекин, 2006); 26 съезд МАС (Чехия, Прага, 2006); Конференция «Изолированные нейтронные звезды: от внутреннего строения к поверхности» (Англия, Лондон, 2006); Конференция «SWIFT и гамма-всплески: реальность релятивистской Вселенной» (Италия, Венеция, 2006); Конференция «Астрофизика высокого временного разрешения» (Англия, Эдинбург, 2007); Конференции SPIE (Франция, Марсель, 2008; США, Сан Диего, 2010); Конференция по гамма-всплескам (Китай, Нанкин, 2008); Совещание по гамма-всплескам (Россия, Нижний Архыз, 2009); Всероссийские астрофизические конференции (Россия, Москва, 2009; Нижний Архыз, 2010); Конференции по роботической астрономии (Испания, Малага, 2009, 2011); 25-й Техасский симпозиум по релятивистской астрофизике (ФРГ, Гейдельберг, 2010); Конференция «Исследование древней Вселенной с помощью гамма-всплесков» (Япония, Киото, 2010); Конференция «Большие оптические телескопы» (Россия, Нижний Архыз, 2011).

Исследования, представленные в диссертации, обсуждались на семинарах САО РАН, ИКИ, ГАИШ, АКЦ ФИАН, Теор. отдела ФИАН, ИНАСАН, КРАО, Астрономических департаментов Болонского университета, Национального университета Ирландии (Галуэй), Университета Падуа (Италия), Обсерваторий Брера, Катании и Неаполя (Италия), Обсерваторий Киевского университета и НАН (Украина), Обсерватории Тыравере (Эстония), а также на Сессиях ООФА РАН.

Положения диссертации, выносимые на защиту

1. Результаты исследования около 100 вспышек звезд типа UV Cet с микросекундным временным разрешением. Определение общих статистических свойств этого ансамбля – распределение длительности передних фронтов и энергий, ограничения на характеристики тонкой временной структуры. Обнаружение нескольких коротких событий длительностью 2-4 секунды с характерными временами возрастания блеска 0.3-0.8 с и вывод о близости их характеристик к предсказаниям тепловой газодинамической модели для самых быстрых вспышек. Общий вывод о

соответствии всех полученных результатов этим теоретическим представлениям.

2. Результаты наблюдений 14 маломассивных рентгеновских систем с микросекундным временным разрешением. Ограничения параметров их переменности в диапазоне 10^{-6} – 10 с. Обнаружение вариаций блеска на временах от 0.5 мс до 100 с у объектов A0620-00 (вспышки длительностью 0.5-5 мс), MXB 1735-44 (две вспышки длительностью 0.2-0.3 с, передними фронтами в 0.1 с и тонкой структурой на шкале 5 мс) и GRO J0422+32 (Nova Per) (вариации в диапазоне $2 \cdot 10^{-3}$ – 10^2 с). Вывод о большой величине яркостной температуры в зонах генерации самых быстрых вспышек, что свидетельствует об их нетепловом происхождении.

3. Вывод о высокой стабильности структуры кривой блеска пульсара в Крабовидной туманности по результатам многолетних наблюдений с микросекундным временным разрешением, обнаружение уплощенности вершины ее главного пульса длительностью 50 мкс, доказательство отсутствия тонкой временной структуры (на шкале 3-100 мкс) главного пульса объекта. Обнаружение уширения диаграммы направленности пульсара с ростом длины волны, определение характера спектра впервые зарегистрированного во внепульсном интервале излучения. Регистрация существенного изменения и восстановления формы кривой блеска пульсара.

4. Обнаружение пульсирующего оптического излучения у пульсаров среднего возраста GEMINGA и PSR 0656+14, на уровне 26 и 25 зв. величины, имеющего, по-видимому, магнитосферное происхождение. Установление ограничений на переменное оптическое излучение у пульсара PSR B1951+32, мягкого репитера SGR 1806-20 и возможных пульсаров, рожденных при взрывах сверхновых в галактиках NGC 4647 и NGC 4321.

5. Развитие магнитовспышечной модели сферической аккреции на изолированные черные дыры звездных масс, учитывающей конкретные механизмы диссипации магнитного поля. Оценки светимости, спектральных и временных характеристик излучения аккрецирующего на них межзвездного газа.

6. Вывод об отсутствии одиночных черных дыр звездных масс среди нескольких десятков объектов с континуальными оптическими спектрами, полученный по результатам их наблюдений с временным разрешением 10^{-6} с, ограничения на амплитуды их быстрой переменности. Оценка верхнего предела ($5 \cdot 10^{-4}$) для доли черных дыр среди близких звезд.

7. Результаты анализа наблюдательных проявлений эффектов гравитационного микролинзирования в двойных системах, состоящих из компактных объектов (число и амплитуды обнаружимых оптических вспышек, длительность и время их повторения), а также многократного гравитационного линзирования гамма-всплесков галактиками как способов изучения физических характеристик линзируемых объектов.
8. Разработка методов широкоугольного мониторинга высокого временного разрешения для обнаружения и исследования оптических транзиентов с использованием черенковских телескопов, короткофокусных телескопов малого диаметра и многообъективных систем.
9. Обнаружение в широкоугольном мониторинге оптического транзиента, сопровождавшего гамма-всплеск GRB 080319B (Naked Eye Burst), характеристики впервые полученной с субсекундным временным разрешением его кривой блеска.

Содержание работы

Диссертация состоит из 6 глав, Введения и Заключения. Ее объем составляет 379 страниц, включая 115 рисунков, 56 таблиц и список литературы из 532 названий.

Во **Введении** приводится общая характеристика работы, обсуждаются ее актуальность и формулируются цели, обосновываются научная новизна, а также научная и практическая ценность полученных результатов, формулируются положения, выносимые на защиту, приводится список статей, в которых опубликованы результаты диссертационной работы с указанием личного вклада диссертанта.

Во **Введении** также описывается аппаратно-методическая основа проведенных исследований, особенности наблюдательных программ в рамках эксперимента МАНИЯ на разных его стадиях. Кратко обсуждаются различные методы анализа данных – поиск стохастической и периодической переменности с использованием y_2 – функций, Фурье-анализа, фазирования временных рядов, нормированных невязок [3, 17, 18]. Наблюдения проводились на 60-см и 6-метровом телескопах САО РАН, 2-15-метровом телескопе обсерватории CASLEO (Аргентина), 4-метровом телескопе WHT. При поиске быстрых оптических транзиентов использовались широкоугольные камеры FAVOR и TORTORA [12]. Для изучения быстрой переменности на временах $10^{-6} - 10^2$ с служили на ранних этапах в 1973 – 1994 г.г. фотометры на базе ФЭУ в одноканальной и многоканальной версиях. С 1996 года наблюдения

проводились с помощью координатно-чувствительных детекторов и лавинно-пролетных диодов [19, 20]. В качестве регистрирующей аппаратуры фигурировали несколько поколений преобразователя «время-код» «Квантохрон» на линии с различными компьютерами [21, 22, 23].

В **Главе 1** приводятся результаты наблюдений звезд типа UV Cet с временным разрешением около 10^{-6} с. На первом этапе программы (1982-85 г.г.) было зарегистрировано 118 вспышек у семи звезд типа UV Cet, составлен каталог основных параметров этих вспышек. Моменты прихода фотонов, накопленные в полосе U с временным разрешением $3 \cdot 10^{-7}$ с в течение 72 наиболее мощных событий у звезд V577 Mon (26 вспышек), Wolf 424 (22 вспышки), UV Cet (11 вспышек) и CN Leo (13 вспышек) были записаны на магнитную ленту для дальнейшего анализа. У этих вспышек был проведен поиск тонкой временной структуры на шкале $5 \cdot 10^{-7} - 1$ с, выделенные детали в этом диапазоне времен неизменно отсутствовали, что является свидетельством в пользу тепловой природы вспышек. Были проанализированы длительности передних фронтов 65 вспышек, оказалось в результате, что у 90% событий время нарастания блеска не превышает 10 с. Такого рода закономерность обнаружена впервые, – ясно, что это результат исследований с высоким временным разрешением. Зарегистрированы 4 вспышки (у каждой из звезд) продолжительностью 2-4 секунды, длительности же их передних фронтов составили 0.3-0.8 с. Было проведено сопоставление этих результатов с предсказаниями, полученными в рамках различных теоретических моделей. Показано, что минимальные длительности фронтов зарегистрированных событий согласуются с выводами тепловой газодинамической модели, а реализация нетепловых механизмов их генерации, по-видимому, исключена. С другой стороны, установлено, что продолжительность фазы затухания самых быстрых вспышек с большой вероятностью определяется временем релаксации нагретого в них газа. Были построены частотные распределения энергий зарегистрированных вспышек, которые в соответствии с предыдущими наблюдениями, имели степенной вид. Установлено, что энергия самых слабых вспышек у самых слабых звезд (CN Leo и UV Cet) составляла $10^{27} - 10^{28}$ эрг, т.е. была близка к энерговыделению в солнечных субвспышках. Было получено ограничение на суммарную мощность микровспышек, которое показывает, что их влияние на нагрев звездных корон не должно превышать влияния сильных, отдельно регистрируемых вспышек. После завершения цикла наблюдений в 1982-85 г.г. проводились ежегодные исследования звезды EV Lac на 6-метровом телескопе в рамках международной

кооперативной программы. Были получены ограничения на амплитуды коротких вспышек и тонкой структуры сильных событий на временах $10^{-6} - 1$ с. На третьем этапе исследований вспыхивающих звезд в 2008-10 г.г. проводился их мониторинг на 6-метровом телескопе в полосе U с использованием панорамного фотометра с временным разрешением 1 мкс [22]. У звезд UV Cet, Wolf 424, EV Lac, V577 Mon были зарегистрированы 34 вспышки с амплитудой $> 0^m$. Главным событием, разумеется, явилась гигантская вспышка (на 3^m) UV Cet 28 декабря 2008 года. В ее ходе (на интервале около 0.5 часа) вблизи максимума были обнаружены 10 спайков, одиночных и двойных, продолжительность которых не превосходила 1.7 секунды. При этом длительность их передних фронтов составила 0.2-0.6 секунд, а сами события имели весьма симметричную форму. По формальным критериям зарегистрированные вспышки не противоречат предсказываемым тепловой газодинамической моделью. Тем не менее это впервые обнаруженное явление требует своего детального анализа и интерпретации.

В **Главе 2** приводятся результаты исследования 14-ти маломассивных рентгеновских систем с целью обнаружения вариаций их излучения в диапазоне $5 \cdot 10^{-7} - 10^2$ с. В отобранных для наблюдений системах нормальный компаньон является звездой позднего спектрального класса с $M < M_{\odot}$ и $L < L_{\odot}$. При этом рентгеновская светимость в $10^3 - 10^4$ раз превышает оптическую, т.е. именно аккрецирующая плазма вносит подавляющий вклад в излучение системы. С другой стороны, в оптическом диапазоне часто обнаруживается ультрафиолетовый избыток, несомненно связанный с аккреционной структурой. Эти обстоятельства определили выделенность маломассивных рентгеновских двойных систем с точки зрения поиска в их излучении быстрых вариаций, связанных с нестационарными (нетепловыми?) процессами в аккрецирующей плазме. В то же время для первоочередных наблюдений отбирались системы с массивным компактным компаньоном (черной дырой?) – в надежде обнаружить прямые проявления сверхсильного гравитационного поля вблизи горизонта событий. Такая возможность может реализоваться, если происходит фрагментация аккреционной структуры (предсказываемая в некоторых моделях), и горизонт событий становится доступен для наблюдений. Далее в Главе 2 описаны наблюдения рентгеновской двойной Cyg X-2 (V1341 Cyg) на телескопах Цейсс-600 и БТА. У этого объекта была обнаружена переменность блеска с характерным временем около 30 секунд, и относительной мощностью вариаций потока до 10%. Получены ограничения для амплитуд спорадических вспышек длительностью $10^{-6} - 10$ с. Оценка

размеров активной в оптическом диапазоне области, 10^{12} см, в сочетании с результатами наблюдений в рентгеновском диапазоне приводит к заключению о возникновении оптических вариаций вследствие переизлучения переменного рентгеновского потока внешними частями аккреционного диска и нормальным компаньоном. Далее приводятся результаты поиска переменности и UBVR фотометрии на 6-метровом телескопе у двойных систем X0041+33, X1728-169, X1813-14, X1957+11. Для всех объектов получены ограничения на мощность переменной компоненты излучения в диапазоне $5 \cdot 10^{-7} - 10^2$ с на уровне от 80% до 4%.

Наиболее важным итогом исследований маломассивных рентгеновских двойных систем, которые обсуждаются в Главе 2, является обнаружение быстрой переменности у трех объектов – A0620-00 (V616 Mon), MXB 1735-44 и GRO J0422+32 (Nova Per 1992). В процессе наблюдений A0620-00 были зарегистрированы 4 вспышки, сгруппированные попарно, с интервалом между ними 15 секунд. Промежуток между событиями в первой паре составляет 10 мс, их длительность 3 и 5 мс, а продолжительность передних фронтов – 1 и 2 мс. Вторая пара еще короче – каждая вспышка продолжалась 0.4-0.5 мс при длительности передних фронтов около 0.1 мс. Амплитуда событий превышает $4^m.5$, поскольку реальная интенсивность превосходила предел пропускной способности аппаратуры. Специальный анализ показал, что ни сбой электроники, ни пролет метеорита или спутника, не могли породить обнаруженные события. Оценки нижних границ яркостных температур в области генерации вспышек составили 10^9 и 10^{11} °К. Полученные характеристики обнаруженных событий свидетельствуют об их нетепловом происхождении. Таким образом в системе A0620-00 реализуются (очень редко!) отклонения от газодинамического режима аккреции, которые можно объяснить в рамках магнито-вспышечных механизмов ускорения частиц и генерации их излучения.

Наблюдения барстера MXB 1735-44 проводились на телескопе обсерватории CASLEO (Аргентина) диаметром 2.15 с помощью комплекса МАНИЯ. По результатам мониторинга в течение 1 часа были получены ограничения на относительную мощность переменной компоненты излучения, в диапазоне $10^{-6} - 10$ с они составили 40% – 3%. Были зарегистрированы две вспышки длительностью около 0.25 с при продолжительности фронтов 0.1-0.12 с, и амплитуде – 15-30, интервал между вспышками составил 0.5 с. Более того, профили обнаруженных событий состоят из отдельных деталей, длящихся 5-10 мс. Яркостные температуры в зонах формирования передних фронтов вспышек

превышали 10^8 °К, а в областях генерации элементов тонкой структуры даже превосходили 10^{10} °К. Сопоставление этих данных с результатами предыдущих рентгеновских и оптических наблюдений позволили сделать вывод о нетепловой природе зарегистрированных вспышек.

Рентгеновская новая GRO J0422+32 (Nova Per 1992) наблюдалась в течение 1992-93 г.г. на 6-метровом и 1.5-метровом телескопах САО и обсерватории Лояно (Италия), соответственно. Nova Per 1992 продемонстрировала существенные отличия своих наблюдательных проявлений от других объектов этого типа – ее блеск неоднократно уменьшался и возрастал на 4-5 звездных величин в течение нескольких часов. Далее приводятся результаты наблюдений переменности этого объекта по данным спектроскопии и фотометрии высокого временного разрешения. Поток излучения Nova Per 1992 вблизи своего максимума изменялся как на шкале часы-дни, так и на временах от нескольких миллисекунд до нескольких минут. Амплитуды этих событий, синхронно наблюдавшихся в парах фильтров BV и BR, лежали в диапазоне значений 0.5-4. Яркостные температуры для самых коротких событий с передними фронтами в 4-5 миллисекунд превысили 10^9 °К. На основе этих результатов было сформулировано заключение, что, по крайней мере, самые быстрые оптические вспышки GRO J0422+32 имеют нетепловое происхождение.

В заключение Главы 2 обсуждаются изложенные в ней результаты в контексте возможной реализации магнито-вспышечных явлений при аккреции на релятивистские объекты в двойных системах.

Глава 3 посвящена анализу наблюдательных проявлений одиночных черных дыр звездных масс и описанию результатов их поисков в наблюдения на 6-метровом телескопе.

После обсуждения необходимости проверки теорий гравитации в сильных полях отмечается выделенность черных дыр как «полигонов» для такого рода экспериментов. Подчеркивается в то же время недостаточность динамических аргументов для отождествления массивного компактного объекта с черной дырой ОТО – критерием является отсутствие у него поверхности, т.е. наличие горизонта событий. Формулируется предложенный В. Шварцманом [2] *experimentum crucis* для отождествления черных дыр звездных масс – обнаружение сверхбыстрой переменности излучения аккрецирующего на них вещества, порождаемой процессами вблизи горизонта событий. Показано, что окрестности горизонта событий у кандидатов в черные дыры звездных масс в тесных двойных системах и у сверхмассивных объектов в центрах галактик

недоступны прямым наблюдениям, поскольку они экранируются большим количеством аккрецирующего газа. В связи с этим обсуждается необходимость детального исследования аккреции межзвездного газа с низким темпом на одиночные черные дыры звездных масс и наблюдательных проявлений последних. Далее в Главе 3 проводится теоретический анализ сферической аккреции межзвездного газа на черные дыры звездных масс. При рассмотрении физических условий в аккреционном потоке показывается необходимость учета процессов диссипации энергии усиливающегося магнитного поля. Предложен один из возможных конкретных механизмов этого явления – перезамыкание магнитных силовых линий в турбулентных токовых слоях. Обсуждаются следствия использования этого подхода – формирование пучков ускоренных электронов, комбинированный характер спектра излучения аккреционного потока (тепловая и нетепловая компоненты), генерация вспышек, несущих информацию о физических условиях в окрестностях горизонта событий. В конечном итоге описываются наблюдательные проявления черной дыры в зависимости от ее массы, скорости движения и плотности межзвездной среды. Далее обсуждается набор критериев для отбора объектов – кандидатов в одиночные галактические черные дыры звездных масс. Главным среди них является отсутствие линий в оптическом спектре, что подчеркивал еще В. Шварцман [2, 3]. В число объектов – кандидатов были включены DC-карлики (белые карлики без линий в спектрах) и радиообъекты с континуальными оптическими спектрами (РОКОСы), локализация которых неизвестна. Некоторые из последних излучают еще и в рентгеновском диапазоне [24]. Из общих списков отбирались для наблюдений наиболее интересные объекты – с данными о переменности, пекулярными цветами или формой спектра (близкими к характерным для нетепловых источников).

Далее обсуждаются результаты поисков переменности на 6-метровом телескопе у примерно 40 объектов указанных типов. Приводятся ограничения на параметры быстрой переменности в диапазоне времен $5 \cdot 10^{-7} - 10$ с, верхние пределы для относительной мощности переменной компоненты лежат в диапазоне 90% - 2%, соответственно. Подведены итоги этих исследований – черные дыры среди наблюдавшихся объектов не обнаружены. Этот вывод для подвыборки DC-карликов позволил ограничить число черных дыр – их доля среди близких звезд не превышает $5 \cdot 10^{-4}$.

В заключение главы приводятся результаты поиска сверхбыстрой переменности в области локализации переменного источника MACHO-99-BLG-22 – проявления эффекта гравитационного линзирования излучения фоновой

звезды промежуточным объектом. Для этой линзы по данным о кривой блеска MACHO-99-BLG-22 и измерениям его параллакса определено соотношение массы и расстояния, а также оценена ее скорость. При этом оказалось, что из-за отсутствия яркой звезды в области локализации линзы, ее роль может выполнять только черная дыра [25]. Сопоставлены верхние пределы относительной мощности переменной компоненты излучения линзирующего объекта, полученные на 6-метровом телескопе, данные наблюдений области его локализации в оптическом (Hubble) и рентгеновском диапазонах (XMM – Newton). Их совокупность позволила отвергнуть реализацию варианта модели линзирования с массивной близкой черной дырой.

В **Главе 4** приводятся результаты исследований эжектирующих пульсаров NP 0532+21, GEMINGA, PSR 0656+14, PSR B1951+32, а также поиска оптической активности у мягкого репитера SGR 1806-20 и проявлений молодых пульсаров во взрывах сверхновых в галактиках NGC 4647 и NGC 4321.

Пульсар в Крабовидной туманности исследовался, начиная с 1980 г., в течение 9 сетов на 6-м телескопе и 4-м телескопе WHT с использованием фотометров на основе ФЭУ, панорамных детекторов и лавинно-пролетных диодов [19, 20, 22], общее время экспозиции составило около 90000 секунд. При этом с максимальным временным разрешением (вплоть до $5 \cdot 10^{-7}$ с) изучалась структура кривых блеска (непосредственно регистрируемой и сфазированной), определялись цветовые (спектральные) характеристики излучения в разных интервалах сфазированной кривой блеска, исследовались ее вековые изменения. Было установлено, что импульсное излучение пульсара в Крабовидной туманности весьма стабильно и с большой вероятностью должно генерироваться в областях магнитосферы со стационарными физическими условиями. Этот вывод следует из следующих результатов анализа данных наблюдений – вариации интенсивности отдельных пульсов не отклоняются от пуассоновской статистики с уровнем значимости лучше 10^{-2} (это соответствует 10% и 15% для главного и вторичного пульсов, соответственно); тонкая временная структура на шкале $10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$ с неизменно отсутствует с верхними пределами для амплитуды в диапазоне 50% – 5%, соответственно (уровень значимости лучше 1%). Аналогичная ситуация была зафиксирована и при анализе структуры сфазированных кривых блеска (в разные эпохи и в различных цветовых полосах). Тонкая временная структура в главном и вторичном пульсах в диапазоне характерных времен от 3.3 до 100 мкс отсутствовала при верхних пределах на относительную амплитуду вариаций от 10% до 2% в главном пульсе и от 15% до 3% – во вторичном. Аналогичные

ограничения для межпульсного и внепульсного интервалов составили 100% - 20%. Собственно вершина главного пульса имеет уплощенный участок (уровень 0.5% от максимума) длительностью около 50 мкс. Эти результаты практически отвергают когерентные механизмы генерации оптического излучения, а также таковые с «бунчеванием» плазмы и образованием пучков с малыми питч-углами.

В части изучения цветовых характеристик пульсара в разных фазах его периода было установлено, что уровень потока для переднего крыла главного импульса на 5% выше в полосе R, чем в полосе B (достоверность – 6σ). Эффект аналогичен и для заднего крыла вторичного пульса. Другими словами общая ширина диаграммы направленности излучения пульсара в Крабовидной туманности возрастает с увеличением длины волны. Это ее свойство не предсказывается существующими моделями генерации высокочастотного излучения пульсаров. Наконец, было обнаружено, что цвета во внепульсном интервале существенно краснее средних по периоду, и соответствуют показателю спектра $\alpha \sim -0.6 \pm 0.4$ (при среднем показателе ~ 0.0), хотя точность этой оценки и невелика.

При сравнении формы кривой блеска пульсара в разные сетки наблюдений было установлено, что ее вековые вариации (появление и исчезновение деталей длительностью 3.3-20 мкс) не превышают 1% в полном соответствии с допустимым пуассоновской статистикой уровнем. В то же время в течение сета наблюдений на 6-метровом телескопе 29.12.05 – 03.01.06 с панорамным спектрофотополариметром [22] было зарегистрировано кардинальное изменение формы кривой блеска – главный и вторичный импульсы стали существенно симметричнее (их задние фронты стали более пологими). При этом через год (в наблюдениях 25-26.01.07) форма кривой блеска полностью восстановилась. Такого рода катастрофическая перестройка была зарегистрирована впервые и требует подтверждения и интерпретации. Отмечена некоторая аналогия этого события с появлением в 1991 году в спектре пульсара абсорбционной линии с длиной волны около 5900 Å, шириной 100 Å и глубиной около 12% [26]. Ее возможное происхождение – резонансное циклотронное поглощение на водородных ионах. Приведены результаты спектроскопии пульсара в Крабовидной туманности на 6-метровом телескопе в 1996 году, где глубина этой линии не превышает 2%, т.е. деталь полностью отсутствовала. С другой стороны отмечено, что за 1.5 года до обнаружения линии в 1991 году у пульсара был зарегистрирован самый мощный в его истории глитч (в радиотайминге его последствия наблюдались

больше года!). Сформулирована идея о связи этого глитча с появлением в магнитосфере значительного количества ионов водорода. Отмечена необходимость длительного спектрального мониторинга (подобно таковому в радиодиапазоне) для регистрации спорадических явлений такого рода.

Далее приводятся результаты поиска на 6-метровом телескопе пульсирующего оптического излучения у двух пульсаров среднего возраста – PSR 0656+14 и GEMINGA. Многочасовой мониторинг областей локализации этих объектов в полосе В с панорамным фотометром, имеющим временное разрешение 1 мкс [20] позволил обнаружить пульсации, чей уровень составил около 25^m и 26^m , соответственно. Показано соответствие форм кривых блеска этих объектов в оптическом и гамма-диапазонах, что свидетельствует о магнитосферном происхождении их оптического излучения (в отличие от рентгеновского).

В заключительной части главы приведены ограничения для пульсирующего излучения возможных молодых пульсаров, образовавшихся при взрывах сверхновых в галактиках NGC 4647 и NGC 4321, нескольких объектов в области локализации пульсара PSR B1951+32, а также переменности любого типа у мягкого репитера SGR 1806-20. Эти результаты были получены по наблюдениям на 6-метровом телескопе с панорамными фотометрами (PSR B1951+32 и SGR 1806-20) и прибором на базе ФЭУ (молодые пульсары).

Глава 5 посвящена анализу эффектов гравитационного линзирования как средства обнаружения релятивистских объектов и исследования нестационарных процессов, с ними связанных.

В первую очередь приводятся результаты изучения гравитационного микролинзирования в двойных системах, состоящих из двух белых карликов, белого карлика и нейтронной звезды, а также белого карлика и черной дыры. Во всех этих конфигурациях излучающим объектом принимается белый карлик с массой $0.7M_{\odot}$, при этом массы черной дыры и нейтронной звезды составляют $10M_{\odot}$ и $1.4M_{\odot}$, соответственно. С помощью численного моделирования показано, что для пары белых карликов характерные длительности вспышек (усилений блеска белого карлика более, чем на $0^m.2$) составляют 50-200 с, а для белого карлика в паре с нейтронной звездой и черной дырой – 30-130 с и 20-40 с, соответственно. Отмечены также отличия форм кривых блеска в разных конфигурациях. Приведены вероятности регистрации вспышки за определенное время наблюдений в зависимости от ее амплитуды, осредненные по всем возможным полуосям двойных систем. Для 9-ти часов наблюдений и $\Delta t = 0^m.2$ они оказались 10^{-3} , $5 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-5} у пар с черной дырой, нейтронной звездой и белым карликом, соответственно. Далее

обсуждаются способы оценки числа пар рассматриваемых типов в Галактике, для которых можно обнаружить эффект микролинзирования, – их количество достигает $10^7 - 10^9$ в зависимости от вида начальной функции масс. Наконец, обсуждаются варианты наблюдательной стратегии для поиска вспышек с использованием уже существующих инструментов, в частности, 2.5 метрового телескопа APO (обзор SDSS). Приводятся количества систем, обнаружимых при реализации оптимальной стратегии за 5 лет – 10-20 пар белых карликов, 5-15 пар с нейтронной звездой и 3-15 пар с черной дырой. Учитывая, что вспышки повторяются, регистрация подобных эффектов даст возможность подробно исследовать релятивистские объекты в этих парах.

В заключение главы 5 формулируется идея о поиске повторных событий гравлинзирования гамма-всплесков при прохождении их излучения через промежуточную галактику по пути к наблюдателю. Отмечено, что при реализации реалистических распределений плотности вещества в галактиках число изображений линзируемого источника должно превышать 3.

Обсуждены особенности линзирования удаленных источников галактиками разных типов и получены оценки соотношений яркости, времен задержки и углового расположения для трех изображений. Показано, что трехкратное гравлинзовое повторение гамма-всплеска, вероятность которого может составлять около 1%, даст принципиальную возможность регистрации и изучения его излучения в других диапазонах до и в течение собственно гамма-события.

В **Главе 6** описаны методы поиска и исследования быстрых оптических транзиентов в широкоугольном мониторинге небесной сферы с высоким временным разрешением, а также некоторые результаты реализации этих программ. Прежде всего проанализированы характеристики различного рода объектов, проявляющих себя как оптические транзиенты неизвестной до их появления локализации. Таковыми могут быть

- источники излучения искусственного происхождения – спутники, элементы конструкций ракет-носителей и межпланетных кораблей, мелкий космический мусор;
- объекты, движущиеся внутри Солнечной Системы, – астероиды, кометы, метеорные тела, в том числе, представляющие опасность для человеческой деятельности;
- астрофизические объекты, как галактической, так и внегалактической локализации, – переменные и вспыхивающие звезды, новые и сверхновые, явления гравитационного линзирования и покрытия звезд планетами, активные

ядра галактик и квазары, оптические вспышки, связанные со всплесками высокоэнергичного излучения.

Отмечается, что для изучения указанных феноменов необходимо в наблюдениях использовать сочетание двух методических требований – мониторинга достаточно больших областей небесной сферы и реализации высокого временного разрешения при его проведении. Именно это направление активно развивается в последние годы как в связи с исследованиями гамма-всплесков, так и в контексте обеспечения безопасности космических полетов. Собственно, сама идея развития методов такого рода возникла с целью обнаружения и изучения оптического излучения гамма-всплесков, синхронного с гамма-эмиссией, независимо от данных, полученных с гамма-телескопов.

Обоснована возможность использования в таких наблюдениях инструментов с «плохими зеркалами» – Черенковских телескопов и солнечных концентраторов. Приведены параметры таких инструментов в контексте поиска быстрых оптических транзиентов. Как альтернатива этому методу обсуждается использование короткофокусных телескопов малого диаметра (10-15 см), снабженных детекторами высокого временного разрешения. Отмечено, что такого типа системы и были разработаны для поиска оптических вспышек, сопровождающих гамма-всплески. Далее приводятся детали конструкции прибора – прототипа FAVOR, созданного в сотрудничестве с ИКИ РАН и НИИ ПП, и аналогичной камеры TORTORA (проект CAO РАН, Болонского университета и НИИ ПП) (см. [12] и ссылки там), а также особенности способов накопления и обработки данных наблюдений. Указано, что камера TORTORA в 2006 году установлена в Обсерватории Ла Силла (Чили) на роботическом телескопе REM, образуя с ним двух-телескопный комплекс [12]. Приведены примеры регистрации спутников и метеоров в режиме реального времени при мониторинге с помощью камер FAVOR и TORTORA.

Далее описан успешный результат наблюдений поля зрения гамма-телескопа SWIFT 19 марта 2008 года – обнаружение яркой вспышки ($5^m.5$), сопровождавшей всплеск GRB 080319B [27]. Приводятся параметры кривой блеска этого транзиента, структура которой была переменна на временах 5-10 с, отмечается, что полученные при изучении этого события результаты, привели к существенной коррекции сформировавшихся представлений о механизмах генерации гамма-всплесков [13, 28].

В заключение главы обсуждаются направления развития методов поиска и исследования оптических транзиентов. В частности, описывается проект многоканальной (многообъективной) системы MegaTORTORA, способной не

только обнаруживать эти объекты при мониторинге, но и проводить их детальное (фотометрическое и поляриметрическое) изучение уже через доли секунды после регистрации [12]. Достигается эта смена программ в результате быстрой переориентации всех объективов системы, снабженных различными цветовыми и поляризационными фильтрами, на область локализации источника излучения. Отмечается, что 6-канальная версия прибора, Mini-MegaTORTORA, уже изготовлена и находится на стадии ввода в эксплуатацию. Наконец, приводится описание многоканального комплекса из нескольких сотен телескопов малого размера (30-40 см), который способен с высокой чувствительностью и эффективностью решать практически все задачи по обнаружению и исследованию оптических транзиентов [29].

В **Заключении** описаны возможные направления развития теоретических и экспериментальных исследований быстропротекающих процессов, связанных релятивистскими и нестационарными астрономическими объектами.

Основные публикации по теме диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 92 работах (все с соавторами) общим объемом 630 страниц, из них 55 – в реферируемых журналах.

Список работ с изложением результатов диссертации:

1. Г.М. Бескин, С.И. Неизвестный, А.А. Пимонов, В.Л. Плохотниченко, В.Ф. Шварцман, Минимальное время оптической переменности объекта Cyg X-2=V1341 Cyg по наблюдениям на 6-метровом телескопе, Письма в АЖ, 1979, 5, 10, 508-513
2. Г.М. Бескин, В.С. Лебедев, С.И. Неизвестный, В.Л. Плохотниченко, В.Ф. Шварцман, Поиск молодых оптических пульсаров в галактиках NGC 4647 и NGC 4321, Письма в АЖ, 1981, 7, 10, 537-542
3. Г.М. Бескин, С.И. Неизвестный, А.А. Пимонов, В.Л. Плохотниченко, В.Ф. Шварцман, Оптическая кривая блеска пульсара в Крабовидной туманности с высоким временным разрешением, Письма в АЖ, 1983, 9, 5, 280-285
4. Г.М. Бескин, Р.Е. Гершберг, С.И. Неизвестный, В.Л. Плохотниченко, Л.А. Пустильник, С.А. Чех, В.Ф. Шварцман, Поиск тонкой временной структуры вспышек звезд типа UV Кита. В кн. «Труды международного симпозиума. Вспыхивающие звезды и родственные им объекты». Ереван, 1986, 60-67
5. Г.М. Бескин, Р.Е. Гершберг, В.Ф. Шварцман, С.И. Неизвестный, В.Л. Плохотниченко, Л.А. Пустильник, С.А. Чех, С.Н. Митронова, А. Журавков,

- Исследование структуры вспышек звезд типа UV Кита с временным разрешением 0.0000003 с., Письма в АЖ, 1988, 14, 2, 156-162
6. В.Ф. Шварцман, Г.М. Бескин, Р.Е. Гершберг, В.Л. Плохотниченко, Л.А. Пустильник, Минимальные времена нарастания блеска во вспышках типа UV Кита, Письма в АЖ, 1988, 14, 3, 233-239
 7. В.Ф. Шварцман, Г.М. Бескин, Р.Е. Гершберг, В.Л. Плохотниченко, Л.А. Пустильник, С.И. Неизвестный, С.А. Чех, Фотометрические исследования вспыхивающих звезд типа UV Кита с временным разрешением 0.0000003 с. На 6-м телескопе, Известие Крымской астрофизической обсерватории, 1988, 79, 71-94
 8. В.Ф. Шварцман, Г.М. Бескин, В.Л. Плохотниченко, Оптическая кривая блеска пульсара в Крабовидной туманности с временным разрешением 3.3 мкс, Сборник «Физика нейтронных звезд. Пульсары и барстеры», Ленинград, 1988, 178-183
 9. V.F. Shvartsman, G.M. Beskin, S.N. Mitronova, S.I. Neizvestny, V.L. Plokhotnichenko, L.A. Pustil'nik, High time resolution photometry of red dwarf flare stars: I. A search for fine structures on the optical light curves of flares. IAU Coll. No.104, «Solar and Stellar flares», Catania, 1989, 95-97
 10. V.F. Shvartsman, G.M. Beskin, V.L. Plokhotnichenko, L.A. Pustil'nik, R.E. Gershberg, High time Resolution photometry of red dwarf flare stars.: II. The shortest flare rise time. IAU Coll. No.104, «Solar and Stellar flares», Catania, 1989, 99-102
 11. V.F. Shvartsman, G.M. Beskin, S.I. Neizvestny, V.L. Plokhotnichenko, L.A. Pustil'nik, R.E. Gershberg, High time resolution photometry of red dwarf flare stars: III. The most rapid and faintest observed stellar flares: their physics and statistics. IAU Coll. No.104, «Solar and Stellar flares», Catania, 1989, 103-105
 12. Г.М. Бескин, С.А. Пустильник, В.Ф. Шварцман, Результаты поиска сверхбыстрой оптической переменности у радиообъектов с континуальными оптическими спектрами, Астрофизика, 31, 3, 1989, 457-465
 13. В.Ф. Шварцман, Г.М. Бескин, С.Н. Митронова, Поиск оптической переменности DC-карликов на временах 0.0000005 – 40 секунд, Письма в АЖ, 1989, 15, 337-345
 14. В.Ф. Шварцман, Г.М. Бескин, С.Н. Митронова, С.И. Неизвестный и В.Л. Плохотниченко, Поиск сверхбыстрой переменности и UBVR-фотометрия A0620-00, Письма в АЖ, 1989, 15, 7, 590-596
 15. В.Ф. Шварцман, Г.М. Бескин и Л.А. Пустильник, Фотоэлектрические наблюдения маломассивных тесных рентгеновских двойных с высоким временным разрешением, Письма в АЖ, 1989, 15, 9, 816-823

16. Г.М.Бескин, С.Н.Митронова. Обновленный каталог DC-карликов (вариант 1987 г.), Изв. САО АН СССР, 1991, 31, 36-79
17. М.Ю. Хлопов, Г.М. Бескин, Н.Г. Бочкарев, Л.А. Пустильник, С.А. Пустильник, Наблюдательная физика зеркального мира, *Астрономический журнал*, 1991, 68, 1, 42-57
18. G. Beskin, S. Neizvestny, V. Plokhotnichenko, M. Popova, and A. Zhuravkov, Optical study of LMXBs with high temporal resolution from CASLEO. Evidence of non-thermal flares from MXB 1735-44, *RMxAA*, 1993, 26, 108
19. Bartolini C., Guarnieri A., Piccioni A., Zampieri G., Beskin G., Neizvestny S., Panferova I., Plokhotnichenko V., Zhuravkov A., Observations of GRO J0422+32 on high and low optical states, in: Holt S., Dey C. (eds.), *AIP Conf.*, «The Evolution of X-ray Binaries», 1994, 308, 103
20. G.M. Beskin, O. Benvenuto, K. Feinstein, M. Mendez, S. Mitronova, S. Neizvestny, V. Plokhotnichenko, M. Popova, A. Zhuravkov, Investigation of low-mass X-ray binaries with superhigh temporal resolution. Revealing of nonthermal optical flares from a burster MXB 1735-44, *Bulletin SAO*, 1994, 37, 132-135
21. C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, G.M. Beskin, S.I. Neizvestny, Fast Optical Variability of GRO J0422+32, *Ap. J. Suppl.*, 1994, 92, 455-458
22. Beskin G.M., Bartolini C., Guarnieri A., Piccioni A., Zampieri G., Mitronova S.N., Neizvestny S.I., Panferova I.P., Plokhotnichenko V.L., Popova M.Yu., Zhuravkov A., Optical behaviour of GRO J0422+32 in different brightness levels, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, 1994, 38, 41-45
23. G. Beskin, S. Neizvestny, V. Plokhotnichenko, M. Popova, A. Zhuravkov, O. Benvenuto, K. Feinstein, M. Mendez, Optical Study of Southern LMXBs with High Temporal Resolution: Evidence for Non-Thermal Flares from MXB1735-44, *Astron. Astrophys.*, 1994, 289, 141-147
24. Г.М. Бескин, С.Н. Митронова, С.И. Неизвестный, В.Л. Плохотниченко, М.Ю. Попова, Исследования релятивистских и быстропеременных объектов с высоким временным разрешением, *Успехи физических наук*, 1994, 164, 660-662
25. G.M. Beskin, S.N. Mitronova, S.I. Neizvestny, I.P. Panferova, V.L. Plokhotnichenko, M.Yu. Popova, C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, Optical properties of Nova Persei 1992 near the maximum, *Astron. and Astrophys. Transactions*, 1995, 8, 297-305
26. Beskin G., Mitronova S., Panferova I., Spectral and Photometrical Investigation of EV Lac in Different States with High Time Resolution, in: Greiner J.,

- Duerbeck H., Gershberg R. (eds.), Flares and Flashes, Lecture Notes in Physics, 1995, 454, 85
27. Beskin G., Neizvestny S., Plokhotnichenko V., Bartolini C., Guarnieri A., Piccioni A., Mitronova S., Popova M., Feinstein C., Mendez M., Benvenuto O., Minarini R., Detection of Nonthermal Optical Flashes with 10^{-3} - 10^{-1} s Duration from Some LMXBs, in: Greiner J., Duerbeck H., Gershberg R. (eds.), Flares and Flashes, Lecture Notes in Physics, 1995, 454, 330-333
 28. Abdul-Aziz H., Abranin E., Alekseev I., Avgoloupis S., Bazelyan L., Beskin G., Brazhenko A., Chalenko N., Cutispoto G., Fuensalida J., Gershberg R., Kidger M., Leto G., Malkov Yu., Mavridis L., Pagano I., Panferova I., Rodono M., Seiradakis J., Sergeev S., Spencer R., Shakhovskaya N., Shakhovskoy N., Coordinated observations of the red dwarf flare star EV Lac in 1992, A&A Suppl. Ser., 1995, 144, 509
 29. Popova M.Yu., Beskin G.M., Mitronova S.N., Neizvestny S.I., Panferova I.P., Plokhotnichenko V.L., Bartolini C., Guarneri A., Minarini R., Investigation of optical variability of GRO J0422+32. Cataclysmic Variable and Related Objects. Proceedings of the 158-th colloquium of the IAU, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1996, 401-402
 30. Beskin G.M., Neizvestny S.I., Mitronova S.N., Plokhotnichenko V.L., Popova M.Yu., Zharikov S.V., Zhuravkov A., Benvenuto O.G., Feinstein C., Mendez M., Bartolini C., Guarnieri A., Minarini R., Piccioni A., Boriakoff V., Dossa D., Investigation of optical variability of relativistic objects with high time resolution. In: Proceedings of the Meeting «Cosmion' 94», Editions Frontieres, Gif-sur-Yvette Cedex, France, 1996, 372-382
 31. Komarova V.N., Beskin G.M., Neustroev V.V., Plokhotnichenko V.L., Optical Investigation of the Crab Pulsar: Simultaneous UBVR Light Curves with Time Resolution of 3.3 mcs and Spectroscopy, Journal of the Korean Astronomical Society, 1996, 29, S217
 32. V.F. Shvartsman, G.M. Beskin et.al., Superfast Photometry with MANIA Complex, Astronomical and Astrophysical Transactions, 1997, 13, 1, 13
 33. Beskin G.M., Mitronova S.N., Neizvestny S.I., Plokhotnichenko V.L., Popova M.Yu., Bartolini C., Guarnieri A., Minarini R., Benvenuto O.G., Feinstein C., Mendez M., Photometrical Investigations of Low-mass X-ray Binaries with High Time Resolution, Astronomical and Astrophysical Transactions, 1997, 13, 273-281

34. Shearer A., Redfern R.M., Gorman G., Butler R., O'Kane P., Golden A., Beskin G.M., Neizvestny S.I., Neustroev V.V., Plokhotnichenko V.L., Cullum M., Pulsed Optical Emission From PSR B0656+14, *Astrophysical J.*, 1997, 487, L181
35. Beskin G., Komarova V., Neizvestny S., Plokhotnichenko V., Popova M., Zhuravkov A., The Investigations of Optical Variability on Time Scales of 10^{-7} - 10^2 s: Hardware, Software, Results, *Experimental Astronomy*, 1997, 7, 413-420
36. Abranin E., Bazelyan L., Alekseev I., Gershberg R., Avgoloupis S., Seiradakis J., Mavridis L., Beskin G.M., Mitronova S., Panferova I., Kidger M., Coordinated Observations of the Red Dwarf Flare Star EV Lac in 1993, *Astrophysics and Space Science*, 1997, 257, 131-148
37. O'Sullivan C., Shearer A., Colhoun M., Golden A., Redfern M., Butler R., Beskin G., Neizvestny S., Neustroev V., Plokhotnichenko V., Danks A., A search for the optical counterpart of PSR B1951+32 in the supernova remnant CTB 80, *Astronomy and Astrophysics Journal*, 1998, 335, 991-994
38. Shearer A., Golden A., Harest S., Butler R., Redfern M., O'Sullivan C., Beskin G., Neizvestny S., Neustroev V., Plokhotnichenko V., Cullum M., Danks A., Possible pulsed optical emission from Geminga, *Astronomy and Astrophysics Journal*, 1998, 335, L21-L24
39. G.M. Beskin, V.N. Komarova, V.V. Neustroev, V.L. Plokhotnichenko, Results of the Crab Pulsar Observation at 6-m Telescope, *Gravitation & Cosmology*, 1998, 4, 161-165
40. G.M. Beskin, A. Shearer, M. Redfern, A. Golden, R. Butler, C. Bartolini, A. Guarnieri, N. Masetti, A. Piccioni., Investigation of Gamma-Ray Burst light curves in different spectral ranges by means of gravitational lensing, *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)*, 1999, 69/1-3, 703-706
41. Beskin G.M., Plokhotnichenko V.L., Bartolini C., Guarnieri A., Masetti N., Piccioni A., Shearer A., Golden A., Auriemma G., Catching the light curve of flaring GRBs: the opportunity offered by scanning telescopes, *Astronomy and Astrophysics S.*, 1999, 138, 589-590
42. Beskin G.M., Shearer A., Golden A., Bartolini C., Guarnieri A., Masetti N., Piccioni A., Catching the light curve of flaring GRB. The opportunity offered by gravitational lensing, *Astronomy and Astrophysics S.*, 1999, 138, 587-588
43. Shearer A., Golden A., O'Conner, P., Beskin G., Redfern, M., Phase-resolved optical emission from isolated neutron stars, *Irish Astron.J.*, 1999, 26, 99
44. Golden A., Shearer A., Beskin G., Unpulsed emission from the Crab pulsar, *Astrophysical J.*, 2000, 535, 373-378

45. Golden A., Shearer A., Beskin G., Unpulsed optical emission from the Crab Pulsar. Proc. of the IAU Colloquium 177 on Pulsar Astronomy ~ 2000 and Beyond, 2000, 202, 307
46. Masetti N., Bartolini C., Bernabei S., Guarnieri A., Palazzi E., Pian E., Piccioni A., Castro-Tirado A.J., Beskin G.M. et.al., Unusually rapid variability of the GRB000301C optical afterglow, Astronomy and Astrophysics J., Letter, 2000, 359, L23-L26
47. Golden A., Shearer A., Beskin G., Neizvestny S., Neustroev V., Plokhotnichenko V., Cullum M., High Speed 2-d UBV Photometry of the Crab pulsar, Astronomy and Astrophysics J., 2000, 363, 617-628
48. Eichler.D, Beskin G., Non-thermal Optical Transients, Physical Review Letters, 2000, 85, 13, 2669-2672
49. Beskin G.M., Shearer A., Golden A., Bartolini C., Guarnieri A., Piccioni A., Masetti N., Gravlensing as a tool for reconstruction of the all-ranges transient behaviour during cosmological gamma-ray bursters Proceedings of the XIXth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and Cosmology «Texas in Paris»; Nuclear Physics B; 2000, 80, C0603, 4 pages
50. Beskin G.M., Plokhotnichenko V.L., Shearer A., Golden A., Redfern M., Results and prospects of the search for single stellar mass black holes, Proceedings of the XIXth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and Cosmology «Texas in Paris»; Nuclear Physics B; 2000, 80, C1206, 5 pages
51. Beskin G.M., Plokhotnichenko V.L., Bartolini C., Guarnieri A., Masetti N., Piccioni A., Non-thermal optical flashes of some LMXBS, Proceedings of the XIXth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and Cosmology «Texas in Paris»; Nuclear Physics B; 2000, 80, C1503, 8 pages
52. Beskin G.M., Komarova V.N., Plokhotnichenko V.L., The Crab pulsar in UBVR bands simultaneously with 3.3 microsecond resolution, Proceedings of the XIXth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and Cosmology «Texas in Paris»; Nuclear Physics B; 2000, 80, C1103, 5 pages
53. Golden A., Shearer A., Beskin G.M., Unpulsed Optical Emission from the Crab Pulsar, Pulsar Astronomy - 2000 and Beyond, Proceedings of the 177th Colloquium of the IAU held in Bonn, Germany, 30 August - 3 September 1999; ASP, 2000, 202, 297
54. G.M. Beskin and V.V. Neustroev, Spectroscopy of the Crab Pulsar, Astronomy and Astrophysics, 2001, 374, 584-587
55. Beskin G.M., Debur V.G., Komarova V.N., Plokhotnichenko V.L., Shearer A., Redfern R.M., Golden A., Investigations of the pulsars with high time

- resolutions. In: *Astrophysics at the Edge of Two Centuries*, Moscow, 2001, 123-131
56. David Eichler, Gregory Beskin, *Optical SETI with Air Cerenkov Telescopes*, *Astrobiology*, 2001, 1(4), 489-493
 57. Alekseev I.Yu., Antov A.P., Avgoloupis S.J., Beskin G.M., Borisov N.V., Chalenko V.E., Contadakis M.E., Gershberg R.E., Khalak V.R., Konstantinova-Antova R.K., Larionov V.M., Panferova I.P., Plokhotnichenko V.L., Pustil'nik L.A., Romanyuk Ya.O., Seiradakis J.H., Sergeev S.G., Svyatogorov O.A., Verlyuk I.A., Zhilyaev B.E., *Coordinated observations of the red dwarf flare star EV Lac in 1998*, *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel*, 2001, 17, 2, 147-156
 58. Gregory M. Beskin, Sergey V. Karpov, *Accretion of magnetized gas onto a single stellar mass black holes*, *Gravitation and Cosmology; Supplement*, 2002, 8, 182-186
 59. G.M. Beskin, A.V. Tuntsoff, *Detection of compact objects in binary systems by means of gravitational lensing*, *Gravitation and Cosmology; Supplement*, 2002, 8, 190-202
 60. G.M. Beskin, A.V. Tuntsov, *Detection of compact objects by means of gravitational lensing in binary systems*, *Astronomy and Astrophysics*, 2002, 394, 489-503
 61. Beskin G.M., Karpov S.V., *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, 227-245
 62. 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
 63. 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
 64. 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 search for transients in the wide field, *Astron. Nachr./AN*, 2004, 325, 6/8, 675
65. Beskin G.M., Karpov S.V., Low-rate accretion onto isolated stellar-mass black holes, *Astronomy and Astrophysics*, 2005, 440, 223-238
 66. 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, 747-750
 67. 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
 68. A. Biryukov, G. Beskin, V. Debur, S. Karpov, V. Plokhotnichenko, I. Zolotukhin, A. Shearer, P. O'Connor, A. Golden, G. Hallinan, M. Redfern, O. Ryan, A study of PSR 0531+21 light curve with 6.6 us temporal resolution, *Proc. «7th Russian Conference on Physics of Neutron Stars»*, 2005, 23
 69. S. Karpov, G. Beskin, A. Biryukov, V. Debur, A. Panferov, I. Panferova, V. Plokhotnichenko, I. Zolotukhin, High temporal resolution 2-d multiband photometry of the Crab pulsar with the 6-meter telescope, *Сборник «7th Russian Conference on Physics of Neutron Stars»*, 2005, 47
 70. Molinari, E., Bondar, S., Karpov, S., Beskin, G., Biryukov, A., Ivanov, E., Bartolini, C., Greco, G., Guarnieri, A., Piccioni, A., Terra, F., Nanni, D., Chincarini, G., Zerbi, F.M., Covino, S., Testa, V., Tosti, G., Vitali, F., Antonelli, L.A., Conconi, P., Malaspina, G., Nicastro, L., Palazzi, E., TORTOREM: two-telescope complex for detection and investigation of optical transients, *Nuovo Cimento B*, 2006, 121, issue 12, 1525-1526
 71. Beskin G.M., Karpov S.V., Low-rate accretion onto isolated stellar mass black holes, *Proceedings of the Relativistic Astrophysics and Cosmology: Einstein's Legacy*, 7-11 November, 2005, Munich, Germany, 2007, 144-148
 72. 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, In: *Proceedings of the IAU Symposium 238, Black Holes from Stars to Galaxies – Across the Range of Masses*, ed by V. Karas & G. Matt, 2007, 159-163

73. S. Karpov, G. Beskin, Observational manifestation of accretion onto isolated black holes of different masses, In: Proceedings of IAU Symposium N238, Black Holes from Stars to Galaxies Across the Range of Masses, ed by V. Karas & G. Matt, 2007, 391-392
74. S. Karpov, G. Beskin, et al., Short time scale pulse stability of the Crab pulsar in the optical band, *Ap&SpSci*, 2007, 308, Issue 1-4, 595-599
75. G. Beskin, V. Debur, V. Plokhhotnichenko, et al., Search for fast optical activity of SGR 1806-20 at the SAO RAS 6-m telescope, *Ap&SpSci*, 2007, 308, Issue 1-4, 477-479
76. G. Beskin, S. Bondar, E. Ivanov, S. Karpov, E. Katkova, A. Pozanenko, A. Guarnieri, C. Bartolini, A. Piccioni, G. Greco, E. Molinari & S. Covino, Monitoring with high temporal resolution to search for optical transients in the wide field, AIP Conference «The Universe at sub-second timescales» Proceedings, edited by D.Phelan, O.Ryan & A.Shearer, 2008, 984, 73-80
77. L. Racusin, S.V. Karpov, M. Sokolowski, J. Granot, X.F. Wu, V. Pal'shin, S. Covino, A.J. van der Horst, S.R. Oates, P. Schady, R.J. Smith, J. Cummings, R.L.C. Starling, L.W. Piotrowski, B. Zhang, P.A. Evans, S.T. Holland, K.Malek, M.T. Page, L. Vetere, R. Margutti, C. Guidorzi, A.P. Kamble, P.A. Curran, A. Beardmore, C. Kouveliotou, L. Mankiewicz, A. Melandri, P.T. O'Brien, K.L. Page, T. Piran, N.R. Tanvir, G. Wrochna, R.L. Apteekar, S. Barthelmy, C. Bartolini, G.M. Beskin, S. Bondar, M. Bremer, S. Campana, A. Castro-Tirado, A. Cucchiara, M. Cwiok, P. D'Avanzo, V. D'Elia, M. Della Valle, A. de Ugarte Postigo, W. Dominik, A. Falcone, F. Fiore, D.B. Fox, D.D. Frederiks, A.S. Fruchter, D. Fugazza, M.A. Garrett, N. Gehrels, S. Golenetskii, A. Gomboc, J. Gorosabel, G. Greco, A. Guarnieri, S. Immler, M. Jelinek, G. Kasprowicz, V. La Parola, A.J. Levan, V. Mangano, E.P. Mazets, E. Molinari, A. Moretti, K. Nawrocki, P.P. Oleynik, J.P. Osboene, C. Pagani, A. Pandey, Z. Paragi, M. Perri, A. Piccioni, E. Ramirez-Ruiz, P.W.A. Roming, I.A. Steele, R.G. Strom, V. Testa, G. Tosti, M.V. Ulanov, K. Wiersema, R.A.M.J. Wijers, J.M. Winters, A.F. Zarnecki, F. Zerbi, P. Meszaros, G. Chincarini, D.N. Burrows, Broadband Observations of the Extraordinary Naked-Eye GRB 080319B, 2008, *Nature*, 455, 7210, 183-188
78. E. Molinari, G. Beskin, S. Bondar, S. Karpov, V. Plokhhotnichenko, V. de-Bur, G. Greco, C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, Ground-based complex for detection and investigation of fast optical transients in wide field, *Astronomical Instrumentation 2008*, SPIE Conference Proceedings, 2008, 7012, 70122S-70122S-11

79. G. Beskin, S. Karpov, S. Bondar, G. Greco, A. Guarnieri, C. Bartolini, A. Piccioni, E. Molinari, G. Chincarini, TORTORA discovery of Naked-Eye Burst fast optical variability, 2008 Nanjing GRB Conference, AIP Conference Proceedings, 2008, 1065, 251-254
80. Beskin G., Biryukov A., Karpov, S., V. Plokhotnichenko, V. Debur, Observational appearances of isolated stellar-mass black hole accretion – theory and observations, *Advances in Space Research*, 2008, 42, 3, 523-532
81. G. Greco, G. Beskin, S. Karpov, C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, E. Molinari, S. Covino, C. Guidorzi, and G. Chincarini, TORTORA observations of GRB 080319B, 2009, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 80, 231
82. G. Greco, G. Beskin, S. Karpov, S. Bondar, C. Bartolini, A. Guarnieri A. Piccioni, High-Speed and Wide-Field Photometry with TORTORA, *Advances in Astronomy*, 2010, 2010, ID 268501, 8 pages
83. S. Karpov, G. Beskin, S. Bondar, A. Guarnieri, C. Bartolini, G. Greco, and A. Piccioni, Wide and fast. Monitoring the sky in sub-second domain with the FAVOR and TORTORA cameras, *Advances in Astronomy*, 2010, 2010, ID 784141, 8 pages
84. G. Beskin, S. Bondar, S. Karpov, V. Plokhotnichenko, A. Guarnieri, C. Bartolini, G. Greco, A. Piccioni, and A. Shearer, From TORTORA to MegaTORTORA – results and prospects of search for fast optical transients, *Advances in Astronomy*, 2010, 2010, ID 171569, 9 pages
85. G. Beskin, S. Karpov, S. Bondar, V. Plokhotnichenko, A. Guarnieri, A. Bartolini, G. Greco, A. Piccioni, Optical transient search strategy via wide-field monitoring, *Astrophysical Bulletin*, 2010, 65, 3, 286-295
86. G. Beskin, S. Karpov, S. Bondar, A. Guarnieri, C. Bartolini, G. Greco, A. Piccioni, Rapid optical variability of the gamma-ray burst GRB 080319B and its central engine, *Astrophysical Bulletin*, 2010, 65, 3, 223-229
87. G. Greco, G. Beskin, S. Bondar, S. Karpov C. Bartolini, A. Guarnieri, A. Piccioni, L'esplosione piu lontana mai vista ad occhio nudo documentata con 460 foto scattate in poco meno di un minuto: il reportage dettagliato del telescopio TORTORA, *Giornale di Astronomia*, 2010, 36 (1), 2-6
88. G. Greco, G. Beskin, S. Karpov, A. Guarnieri, C. Bartolini, S. Bondar, A. Piccioni, E. Molinari, The High-Speed and Wide-Field TORTORA Camera: Description & Results, *Memorie della Societa Astronomica*, 2010, 14, 267-270
89. Г. Бескин, С. Карпов, С. Бондарь, В. Плохотниченко, А. Гуарниери, К. Бартолини, Д. Греко, А. Пиччиони, Открытие быстрой оптической переменности гамма-всплеска GRB 080319B и перспективы

широкоугольного оптического мониторинга высокого временного разрешения, Успехи физических наук, 2010, 180, 4, 424-434

90. G. Beskin, S. Karpov, S. Bondar, G. Greco, A. Guarnieri, A. Bartolini, and A. Piccioni, Fast Optical Variability of a Naked-Eye Burst – Manifestation of the Periodic Activity of an Internal Engine, *Astrophysical Journal Letters*, 2010, 719, L10-L14
91. Beskin Grigory, Bondar Sergey, Karpov Sergey, Plokhotnichenko Vladimir, Guarnieri Adriano, Bartolini Corrado, Greco Giuseppe, Multi-objective transforming telescope for wide-field optical monitoring of the sky with high-temporal resolution, *Proceedings of the SPIE*, 2010, 7733, 77330V-77330V-17
92. G. Beskin, S. Bondar, S. Karpov, A. Guarnieri, C. Bartolini, G. Greco, A. Piccioni, Wide-field monitoring strategy for the study of fast optical transients, *AIP Conference Proceedings «Workshop on «Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts», Kyoto, Japan, 19-23 April 2010»*, 2010, 1279, 208-211

Личный вклад автора

1. При изучении вспышек звезд типа UV Cet в публикациях [7, 9, 10, 11, 28, 36, 57] автор наравне с другими соавторами участвовал в постановке задачи, отборе объектов для наблюдений, проведении наблюдений, развитии методов статистического анализа данных. Его вклад в астрофизическую интерпретацию результатов и подготовку публикаций был определяющим в работах [4, 5, 6, 26].
2. При исследованиях маломассивных рентгеновских двойных автор наравне с коллегами участвовал в проведении наблюдений и статистическом анализе данных, его же роль в отборе объектов для наблюдений, астрофизической интерпретации их результатов и подготовке подавляющей части статей [1, 14-15, 20-22, 24, 25, 27, 30, 32, 33, 51] к публикации была определяющей.
3. Автор наравне с соавторами участвовал в наблюдениях пульсара в Крабе [3, 8, 31, 40, 52, 54, 55, 68, 69, 74]. В этих работах он проводил астрофизическую интерпретацию результатов и готовил тексты к публикации, в работах [44, 45, 47, 53] вклад автора был определяющим при интерпретации результатов. В изучении других нейтронных звезд [34, 35, 37, 38, 43] автор участвовал наравне со своими коллегами.
4. При исследованиях на 6-метровом телескопе кандидатов в одиночные черные дыры [12, 13, 16, 72, 76] автор наравне с коллегами проводил отбор и

предварительный анализ свойств объектов изучаемой выборки (совместно с В. Шварцманом, С. Пустильником, С. Митроновой и С. Карповым) и участвовал в наблюдениях, его вклад был определяющим в астрофизической интерпретации результатов и подготовке публикаций к печати.

В теоретическом изучении наблюдательных проявлений одиночных черных дыр [50, 58, 61, 65, 68, 73] автору принадлежит постановка задачи о роли конкретных механизмов диссипации магнитных полей в аккреции, качественное рассмотрение этих процессов, а также анализ результатов в контексте подготовки программ наблюдений.

5. Автору принадлежит идея о роли многократного грав. линзирования в исследовании оптического излучения, сопровождающего гамма-всплески, качественный анализ эффекта, оценка его вероятности [39, 42, 49], он участвовал в наблюдениях по поиску этого явления наравне с другими соавторами [46]. Автор предложил способ поиска релятивистских объектов по эффектам грав. линзирования в двойных системах, состоящих из двух белых карликов, и белого карлика в паре с черной дырой или нейтронной звездой. Совместно с А. Тунцовым (который провел все компьютерные расчеты) он детально изучил это явление, оценил возможности его обнаружения и проанализировал особенности инструментов и наблюдательных программ для реализации такой задачи [59, 60].

6. В развитии и реализации стратегии широкоугольного мониторинга для поиска быстрых оптических транзиентов автор предложил их основные направления – использование телескопов с «плохими» зеркалами, короткофокусных инструментов, снабженных детекторами высокого временного разрешения, многокомпонентных систем с разделенными функциями [41, 67, 76, 84, 85, 89, 91, 92]. Наравне с коллегами он участвовал в оценке возможностей обнаружения оптических вспышек [48, 56], в разработке принципиальных схем инструментов, подходов к статистическому анализу данных, исследовании характеристик приборов [62, 63, 64, 66, 78, 82, 83, 88]. Автору (совместно с С. Карповым) принадлежит определяющий вклад в обнаружение и исследование с высоким временным разрешением оптического излучения, сопровождавшего гамма-всплеск GRB 080319B [77, 79, 81, 86, 87, 90].

Литература

1. Bondi, H. Q.J.R. Astron. Soc. 11, 443 (1970)
2. Шварцман, В.Ф. Астрон. Ж. 48, 479 (1971)
3. Шварцман, В.Ф. Сообщ. САО 19, 5 (1977)
4. Psaltis, D. Living Rev. Relativity 11, 9 (2008)
5. Черепашук, А.М. УФН173, 345 (2003)
6. Бескин, Г.М., Карпов, С.В. A&A 440, 223 (2005)
7. Гершберг, Р.Е. Активность солнечного типа звезд главной последовательности, Астропринт, Одесса (2002)
8. Pustil'nik, L. Ap&Sp. Sci. Proc. 4, 435 (2009)
9. Gilfanov, M. Lecture Notes in Physics 794, 17 (2009)
10. Bjornsson, C.-I. et al. A&A 516, 65 (2010)
11. Aliu, E. et al. Science 334, 69 (2011)
12. Бескин, Г.М. и др. УФН 180, 424 (2010)
13. Fan, Yi-Zh. et al. Ph. Rev. D 79, 1301 (2009)
14. Meszaros, P. Rep. Prog. Phys. 69, 2259 (2006)
15. Shearer, A. Ap&Sp. Sci. Lib. 351, 1 (2007)
16. Shearer, A. et al. arXiv 1008.0605 (2010)
17. Плахотниченко, В.Л. Сообщ. САО 38, 29 (1983)
18. Beskin, G. et al. Ap&Sp. Sci. 308, 477 (2007)
19. Бескин Г.М. и др. УФН 164, 660 (1994)
20. Beskin G.M. et al. In: Astrophysics at the Edge of Two Centuries, Moscow, 123 (2001)
21. Plokhotnichenko V., Beskin G., Debur V., Panferov A., Panferova I. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 513, 167 (2003)
22. Plokhotnichenko V., Beskin G., de-Bur V., Karpov S. AIP Conference «The Universe at sub-second timescales», Proceedings, edited by D. Phelan, O. Ryan & A. Shearer, 984, 194 (2008)
23. Plokhotnichenko V.L., Solin A.V., and Tikhonov A.G. Astrophysical Bulletin 64, 2, 198 (2009)
24. Tsarevsky, G. et al. A&A 438, 949 (2005)
25. Bennet, D.P. et al. ApJ 579, 639 (2002)
26. Nasuti, F.P. et al. A&A 314, 849 (1996)
27. Racusin, J.L. et al. Nature 455, 183 (2008)
28. Beskin G. et al. ApJ 719L, 10 (2010)
29. Beskin, G. et al. SPIE Proc. 7733, 77330V (2010)