

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МГУ имени М.В.Ломоносова
доктор физико-математических наук, профессор

_____ А.А.Федянин

«_____» _____ 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова**» (**Государственный Астрономический институт имени П.К.Штернберга**, 119234, Москва, Университетский пр-т, 13)
на диссертационную работу **Свинкина Дмитрия Сергеевича** на соискание ученой степени «кандидат физико-математических наук» по специальности «01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия» (отрасль наук: «физико-математические») на тему
«НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ КОНУС-ВИНД»

Актуальность для науки и практики

Тема исследования гамма-всплесков является одной из наиболее актуальных задач современной астрофизики. Эти уникальные по энерговыделению ($\sim 10^{54}$ эрг с^{-1}) явления содержат информацию в том числе и об условиях в ранней Вселенной, и их изучение во всем электромагнитном диапазоне является на протяжении нескольких последних десятилетий одной из важнейших и интереснейших задач астрофизики высоких энергий. В ходе экспериментов «Конус» было установлено, что распределение источников всплесков на небе является изотропным. Также было выявлено, что спектр всплесков нетепловой и содержит фотоны с энергиями до ~ 1 МэВ и что жёсткость спектра (отношение скоростей счёта в двух различных энергетических диапазонах) и интенсивность излучения в ходе всплеска коррелируют, что было подтверждено экспериментом BATSE. Благодаря широкому спектральному диапазону BATSE (~ 30 кэВ–3 МэВ) было обнаружено, что спектр всплесков хорошо описывается двухстепенной функцией Банда с изломом в области 100–1000 кэВ. При этом типичный спектр коротких всплесков более жесткий, чем у длинных. Часть коротких всплесков сопровождается так называемым продлённым излучением в мягком гамма-диапазоне (extended emission), которое имеет меньшую интенсивность по сравнению с коротким начальным импульсом и значительную длительность (от десятков до сотен секунд). Интенсивность коротких всплесков в рентгеновском диапазоне, в среднем, примерно в семь раз меньше, чем у длинных всплесков. К настоящему времени число коротких всплесков с отождествлёнными родительскими галактиками составляет около 40. Практически для всех этих всплесков красное смещение было определено на основе спектроскопии или фотометрии родительских галактик.

Научная новизна исследований и полученных результатов

В результате выполнения работы над представленной диссертацией впервые:

1. Проанализирован набор гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте Конус-Винд за первые 15 лет непрерывных наблюдений с 1994 г. по 2010 г. Для всех всплесков определены параметры временных историй: длительности, жесткости и спектральные задержки. Соискателем предложена независимая методика определения физического типа источника всплеска на основе полученных параметров.
2. Создан каталог локализаций 271 короткого гамма-всплеска. В ходе работы 165 всплесков локализованы впервые, а 86 локализаций, полученных другими космическими обсерваториями, были существенно уточнены.
3. На основе составленного каталога локализаций соискателем независимо получен верхний предел на частоту гигантских вспышек мягких гамма-репитеров.
4. Выполнен спектральный анализ 293 коротких GRB, зарегистрированных Конус-Виндом и создан каталог спектральных и энергетических параметров 293 коротких гамма-всплесков. Каталог содержит наиболее обширный набор коротких всплесков, исследованных в широком диапазоне энергий 10 кэВ–10 МэВ. Соискателем обнаружено три новых коротких GRB с дополнительной степенной компонентой в спектре, ранее было известно только два таких всплеска.
5. В данных эксперимента Конус-Винд соискателем обнаружено 30 коротких всплесков с продленным излучением (ЕЕ), что является наиболее широкой выборкой подобных событий. Спектральный анализ 21 короткого всплеска с продленным излучением подтверждает присутствие значительной доли событий с жестким ЕЕ. В том числе обнаружено одно событие с характерной энергией выше 2 МэВ, что существенно выше значений, известных из более ранних исследований.
6. Результаты проведенного соискателем временного и спектрального анализа коротких гамма-всплесков, зарегистрированных Конус-Винд, дают независимое подтверждение неоднородности природы источников таких событий.

Научная и практическая значимость диссертации

1. Анализ долговременной эволюции параметров эксперимента Конус-Винд может быть использован для планирования долговременных космических экспериментов на основе сцинтилляционных детекторов.
2. Каталог локализаций коротких GRB может быть использован при решении широкого круга задач современной астрофизики, таких как ретроспективный поиск гравитационных волн, потоков нейтрино высоких энергий и гигантских вспышек внегалактических SGR.
3. Результаты спектрального анализа обширной выборки коротких GRB в широком спектральном диапазоне важны для оценки теоретических моделей генерации гамма-излучения в источниках всплесков.

Достоверность полученных результатов, полученных при анализе данных космического эксперимента Конус-Винд подтверждается:

1. Использованием нескольких независимых и взаимозаменяемых методов обработки экспериментальных данных.
2. Интенсивной кооперацией с экспериментами Swift, Fermi и др., совместным анализом общих событий, показавшим применимость используемых методик.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из Введения, пяти глав основного

содержания, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации 155 страниц текста с 33 рисунками и 13 таблицами. Список литературы содержит 206 наименований.

Во введении дан краткий обзор современного состояния астрофизики гамма-всплесков, поставлены задачи и продемонстрирована их актуальность и научная новизна. Сформулированы основные результаты работы и положения, выносимые на защиту, приведен список работ, в которых опубликованы основные результаты диссертации.

Первая глава посвящена описанию космического эксперимента Конус-Винд (KW), исследованию чувствительности детекторов к вспышкам гамма-излучения, анализу фоновой обстановки и изменения характеристик прибора в ходе эксперимента. В разделе 1.1 описана методика расчёта функции отклика детектора и получения параметров спектральных моделей. В разделе 1.2 представлена разработанная соискателем методика калибровки аппаратных спектров KW на основе измерения положения линии фонового излучения 1460 кэВ, связанной с распадом изотопа ^{40}K , содержащегося в материалах детектора. Исследованы долговременные вариации фона и дрейф параметров KW со временем на протяжении более 20 лет непрерывных наблюдений, что важно для анализа текущих данных KW и планирования будущих экспериментов на основе сцинтилляционных детекторов. В разделе 1.3 произведён расчёт чувствительности детектора ко вспышкам гамма-излучения с различным спектральным составом. Показано, что для коротких всплесков с E_p (энергия пика $EF(E)$ спектра), лежащей в интервале $\sim 100\text{--}1000$ кэВ, минимальный интегральный поток, вызывающий срабатывание триггера составляет $\sim (0.3\text{--}1.0) \times 10^{-6}$ эрг см^{-2} в диапазоне 20 кэВ–10 МэВ.

Во второй главе описана методика классификации всплесков KW на основе длительности, жесткости и спектральной задержки, разработанная соискателем. Определены и обоснованы критерии отбора коротких всплесков.

Третья глава посвящена локализации выбранных коротких всплесков методом триангуляции с использованием межпланетной сети IPN, произведённой при активном участии соискателя. В итоге для 271 короткого гамма-всплеска KW получена наиболее полная локализационная информация.

Четвертая глава посвящена поиску гигантских вспышек от SGR, расположенных в близких (до 30 Мпк) галактиках, выполненному соискателем. В главе дана оценка чувствительности KW и IPN к гигантским вспышкам и приведены результаты поиска наложений локализаций всплесков на ближайшие галактики. В заключение приведена оценка частоты гигантских вспышек различной интенсивности.

В пятой главе приведена методика и результаты спектрального анализа 293 коротких гамма-всплесков, зарегистрированных KW.

В Заключении автором подробно сформулированы полученные в диссертации результаты, которые состоят в следующем:

1. Исследован временной дрейф параметров детекторов, долговременные вариации фона и оценен порог срабатывания триггера KW, составляющий, в зависимости от временного масштаба и параметров спектра всплеска, от $\sim 3 \times 10^{-7}$ эрг см^{-2} до $\sim 1 \times 10^{-6}$ эрг см^{-2} .
2. Для набора 1834 всплесков KW вычислены длительности T_{50} и T_{90} , жесткости и спектральные задержки. Показано, что распределения всплесков по T_{50} и T_{90} хорошо аппроксимируются двумя логнормальными распределениями. Обнаружено, что параметры аппроксимации распределения T_{50} более устойчивы к выбору порога поиска начала и конца всплеска, поэтому длительность T_{50} более предпочтительна для классификации всплесков. Обнаружен 31 кандидат в короткие всплески с продлённым излучением. Выделен набор 296 коротких всплесков (с учётом кандидатов в короткие гамма-всплески с продлённым излучением). Аппроксимация распределения 1143 ярких всплесков KW на плоскости $\log T_{50}\text{--}\log HR32$ набором гауссовых компонент показала наличие в данных KW двух классов всплесков: коротких/жестких и длинных/мягких.

Сравнение классификаций на физические типы I и II с классификацией на основе длительности, жесткости и спектральной задержки подтвердило, что всплески Типа I относятся к коротким/жестким всплескам с малой спектральной задержкой, а всплески Типа II, в основном, — длинные мягкие с заметной спектральной задержкой.

3. Получена наиболее полная локализационная информация для 271 короткого гамма-всплеска KW. Методика триангуляции была успешно применена для локализации источников 146 гамма-всплесков, зарегистрированных Fermi-GBM, и подтверждения оптических послесвечений, зарегистрированных системой телескопов iPTF Паломарской обсерватории.
4. На основе оценки чувствительности эксперимента Конус-Винд и сети IPN получено предельное расстояние регистрации GF от SGR, схожих с GF от SGR 1806–20, равное ~30 Мпк. Произведён поиск близких галактик в локализациях коротких гамма-всплесков KW. Были обнаружены два всплеска, ранее ассоциированы с группой галактик M81/M82 (GRB 051103) и галактикой Андромеды (GRB 070201), локализации которых имеют малую вероятность случайного наложения на эти галактики (~1%). Дополнительный поиск всплесков из скопления Девы не выявил возможных кандидатов в GF. Получен верхний предел на частоту GF с энерговыделением $Q \sim 10^{46}$ эрг, равный $\sim 1 \times 10^{-4}$ год⁻¹ на SGR, который предполагает около одной GF с таким энерговыделением за время активности SGR (10^3 – 10^5 лет). Этот предел был вычислен на основе наиболее широкого на 2014 г. набора коротких всплесков и является более жестким, чем оценка, полученная ранее. Для GF, сопоставимых по энерговыделению со вспышкой 5 марта 1979 г. ($Q \sim 10^{45}$ эрг), полученный верхний предел на порядок выше $\sim 1 \times 10^{-3}$ год⁻¹ SGR⁻¹, что может быть интерпретировано, как возможность наблюдать более одной подобной GF за время жизни SGR.
5. Выполнен спектральный анализ 293 коротких GRB, зарегистрированных KW. Этот набор составляет ~15% от полного числа всплесков, зарегистрированных за первые 15 лет работы инструмента. Определены модели, наилучшим образом описывающие спектры всплесков и их параметры, на основе чего оценена наблюдаемая энергетика событий. Среди 214 всплесков с многоканальными спектрами обнаружено три события, для описания которых необходима дополнительная степенная спектральная компонента с фотонным индексом ~2. Эти всплески входят в 10% наиболее интенсивных событий из набора. Среди 21 короткого всплеска с EE, достаточно интенсивным для проведения спектрального анализа, обнаружено четыре события, у которых начальный импульс классифицирован как Тип I и спектр EE описывается моделью CPL с относительно высокой $E_p \sim 160$ кэВ–2.2 МэВ. Полученный результат свидетельствует в пользу наличия достаточно жесткого продлённого излучения у некоторых коротких гамма-всплесков. Исследование соотношений E_p с интегральным (S) и пиковым (F_{peak}) энергетическим потоком (соотношения жёсткость-интенсивность) показали, что: (1) Предполагаемая GF в галактике M31 является явным выбросом в распределении E_p – F_{peak} , что подкрепляет свидетельства в пользу отличной от GRB природы этого события; (2) Всплески типов I и II занимают практически непересекающиеся области на диаграмме E_p –S, что подтверждает их разную физическую классификацию, предложенную соискателем на основе анализа кривых блеска и даёт возможность отделить события, вызванные слияем компактных объектов, от событий, связанных с коллапсом массивных звёзд.

Существенных недостатков представленная диссертация не содержит.

Выводы и положения диссертации соответствует представленным результатам. Настоящая работа является законченным научно-квалифицированным исследованием, которое выполнено

на высоком научном уровне и вносит значительный вклад в развитие актуального направления современной астрофизики – исследование гамма-всплесков: самых мощных явлений во Вселенной. Автореферат диссертации достаточно полно отображает содержание диссертационной работы и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ, предъявляемыми к авторефератам диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата наук. Требования ВАК к публикациям по теме диссертации полностью выполнены.

Диссертация Свинкина Дмитрия Сергеевича «Наблюдения коротких гамма-всплесков в эксперименте Конус-Винд» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842», а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звездная астрономия».

Диссертация обсуждена и одобрена на заседании Общественного семинара астрофизики имени Я. Б. Зельдовича ГАИШ МГУ 08 апреля 2016 года. Отзыв на диссертационную работу Д. С. Свинкина составлен заведующим лабораторией космического мониторинга Государственного Астрономического Института имени П. К. Штернберга Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова, доктором физико-математических наук, профессором Липуновым Владимиром Михайловичем.

Директор ГАИШ МГУ,
Академик РАН

Черепашук А.М.

Заведующий лабораторией космического мониторинга
ГАИШ МГУ
доктор физико-математических наук, профессор

Липунов В.М.