

Отзыв официального оппонента
на диссертацию **Свинкина Дмитрия Сергеевича**
«Наблюдения коротких гамма-всплесков в эксперименте Конус-Винд»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

В диссертации проведено систематическое исследование коротких гамма-всплесков на основе уникальной базы данных, накопленной в многолетнем космическом эксперименте Конус-Винд. Также проведен поиск гигантских вспышек мягких гамма-репитеров в близких галактиках.

Актуальность темы диссертации связана в первую очередь с тем, что класс коротких гамма-всплесков остается значительно менее изученным по сравнению с классом длинных гамма-всплесков. Считается, что короткие гамма-всплески возникают при слиянии пары релятивистских компактных объектов, однако прямых свидетельств в пользу этой гипотезы пока не получено. Интерес к таким событиям в последнее время возрос еще больше благодаря открытию в эксперименте LIGO гравитационных волн, вызванных слиянием пары черных дыр. Так как слияние двух нейтронных звезд или нейтронной звезды с черной дырой тоже должно сопровождаться испусканием гравитационных волн, то короткие гамма-всплески являются основными кандидатами на роль электромагнитных “партнеров” всплесков гравитационных волн. В этой связи, установленные на спутнике Конус-Винд всенаправленные приемники мягкого гамма-излучения продолжают играть очень важную роль. Актуальным является и поиск гигантских вспышек мягких гамма-репитеров в близких галактиках, так как до сих пор было обнаружено только три таких вспышки (все – либо в нашей Галактике, либо в ее спутнике – Большом Магеллановом Облаке), и остаются открытыми ключевые вопросы о частоте и природе таких экстремальных событий.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем диссертации составляет 155 страниц текста с 33 рисунками и 13 таблицами. Список цитированной литературы содержит 206 наименований.

Первая глава посвящена описанию космического эксперимента Конус-Винд и исследованию чувствительности детекторов к вспышкам гамма-излучения. Детально исследована эволюция параметров детекторов Конус-Винд на протяжении более 20 лет. Показано, что границы энергетического диапазона и уровень фона менялись весьма существенно. Показано, как эти изменения влияют на порог регистрации гамма-всплесков в зависимости от спектральных параметров. Полученные в этой главе результаты используются в последующих главах. Кроме того, эти результаты можно использовать и в дальнейшей работе, например для получения верхних пределов на поток гамма-излучения от транзиентных событий, которые могут сопровождать такие интересные астрофизические события как взрывы сверхновых и всплески гравитационных волн. Полученная информация о долговременной эволюции характеристик детекторов Конус-Винд представляет интерес и для планирования будущих космических экспериментов.

Вторая глава посвящена классификации гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте Конус-Винд. Хотя существование двух классов гамма-всплесков (длинных и коротких) давно известно, для значительной доли гамма-всплесков отнесение к тому или иному классу представляет существенную проблему. Такая

трудность возникает при классификации всплесков продолжительностью около секунды и в случае коротких всплесков с продленным излучением в мягком гамма-диапазоне. Диссертант провел тщательную работу по разделению гамма-всплесков в каталоге Конус-Винд на категории. В начале было сделано разбиение только на основе длительности событий, затем на основе длительности, спектральной жесткости и спектральной задержки, а в конце выполнено сравнение полученных результатов с классификацией, основанной на физических свойствах гамма-всплесков (по данным о послесвечениях и родительских галактиках). В итоге составлен каталог, состоящий из 296 коротких гамма-всплесков, около 10 процентов которых имеют продленное излучение. Ценность полученного каталога заключается как в его размере (это один из самых больших существующих каталогов коротких гамма-всплесков), так и в его качестве. Диссертант сыграл ключевую роль в составлении каталога.

Третья глава посвящена локализации коротких гамма-всплесков из каталога Конус-Винд методом триангуляции. Оказалось, что для 271 из 296 коротких гамма-всплесков имеются данные еще как минимум одного аппарата, входящего в межпланетную сеть IPN. Для всех этих событий диссертант получил триангуляционные кольца, а для многих – и более компактные области локализации. Здесь важно отметить уникальность проведенной работы: насколько я знаю, помимо диссертанта и его коллег в ФТИ им. Иоффе локализацией гамма-всплесков по данным IPN в мире занимается лишь Кевин Орли в Беркли. Диссертант провел кропотливую работу, в ходе которой ему пришлось учесть много факторов, влияющих на точность локализации гамма-всплесков. Интересно, что в случае ряда коротких событий удалось достигнуть лучшей точности не по данным межпланетных аппаратов, а по данным спутников, расположенных на околоземной орбите. Это связано в том числе с возможностью более точной временной привязки детекторов. Итогом этой деятельности стал каталог IPN-локализаций коротких гамма-всплесков Конус-Винд, общедоступный через сайт [VizieR](http://vizier.u-strasbg.fr). Полученные локализации могут быть использованы для решения большого круга задач, включая поиск гравитационных волн и нейтрино от слияния компактных объектов и гигантских вспышек мягких гамма-репитеров в близких галактиках. Полученные IPN-локализации уже помогли при поиске послесвечений от ряда гамма-всплесков с помощью системы телескопов iPTF Паломарской обсерватории.

Четвертая глава посвящена поиску гигантских вспышек магнитаров среди коротких гамма-всплесков из каталога Конус-Винд, локализованных по данным IPN. Идея заключается в том, что гигантская вспышка магнитара, аналогичная знаменитой вспышке 5 марта 1979 г. источника SGR 0526-66 или еще более мощной вспышке источника SGR 1806-20 27 декабря 2004 г., может выглядеть как более-менее обычный короткий гамма-всплеск, если произойдет в достаточно близкой галактике. Поиск таких событий предпринимался и раньше, но в данной работе был использован самый большой каталог хорошо локализованных коротких гамма-всплесков. В радиусе поиска (30 Мпк) оказалось такое большое количество галактик, что некоторые из местоположений гамма-всплесков должны случайно накладываться на изображения галактик на небе. Поэтому был сделан дополнительный отбор галактик, заключающийся в том, чтобы рассматривать только те из них, которые характеризуются большим темпом звездообразования и следовательно высокой частотой вспышек сверхновой. Этот подход вполне оправдан, так как магнитары – это нейтронные звезды, которые образовались в результате коллапса массивных звезд. В результате поиска было найдено только

2 коротких гамма-всплеска, пришедших со стороны близких галактик (M81/M82 и Туманности Андромеды), причем в каждом из этих случаев вероятность случайного совпадения мала. Отметим, что оба этих случая уже были описаны в литературе раньше. Таким образом оказалось, что не более 1-2 из почти трехсот коротких гамма-всплесков могут быть гигантскими вспышками магнитаров. В результате удалось получить жесткий верхний предел на частоту возникновения таких событий и высказать предположение, что гигантские вспышки случаются не более одного раза в жизни магнитара. Этот важный результат было бы интересно проверить в будущем по мере поступления новых данных о коротких гамма-всплесках.

В пятой главе проведена масштабная работа по исследованию спектральных свойств коротких гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте Конус-Винд. В результате получен каталог спектральных параметров для более чем 200 коротких гамма-всплесков. Для сравнения, известный каталог CGRO/BATSE примерно вдвое больше, но он основан на спектральной информации в значительно более узком диапазоне энергий. По данным Конус-Винд спектральный анализ производился в очень широком диапазоне, примерно от 10 кэВ до 10 МэВ. В результате оказалось, что большинство спектров хорошо описываются моделью степенного спектра с экспоненциальным завалом на высоких энергиях, а не просто степенным законом, как заявлялось в ряде предыдущих работ. Полученный спектральный каталог несомненно станет важной базой данных для исследования механизмов излучения в коротких гамма-всплесках. Из других интересных результатов, полученных в данной главе, стоит отметить обнаружение дополнительной степенной компоненты в спектре излучения ряда ярких всплесков, исследование спектров продленного излучения коротких гамма-всплесков и поиск гамма-всплесков, связанных с испарением первичных черных дыр в окрестностях Солнца.

Характеризуя диссертацию в целом, следует отметить новизну проведенных исследований и полученных результатов. Выносимые на защиту научные заключения хорошо обоснованы, достоверны и весьма значимы для астрофизики высоких энергий. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на семинарах и конференциях высокого уровня, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах.

У оппонента есть два небольших замечания к диссертации. Во-первых, было бы интересно узнать больше подробностей про короткие гамма-всплески, у которых было обнаружено продленное излучение. В тексте диссертации лишь коротко сказано о том, как регистрировались такие события, и практически нет информации об их кривых блеска. Все внимание уделено спектральным свойствам. На мой взгляд, для лучшего понимания того, что из себя представляют такие события, важно смотреть на совокупность временных и спектральных свойств продленного излучения.

В параграфе 4.5 на стр. 109 говорится, что полученный верхний предел на частоту гигантских вспышек магнитаров в близких галактиках согласуется с частотой такой событий в Галактике и Большом Магеллановом Облаке, хотя числа, приведенные во втором абзаце, казалось бы свидетельствуют об обратном, а именно о том, что факт регистрации трех гигантских вспышек в Галактике и Большом Магеллановом Облаке является весьма неожиданным на фоне того, что такие события практически не регистрируются в сотнях других галактик. По всей видимости, это

противоречие можно объяснить тем, что в указанных погрешностях не учтен ряд систематических неопределенностей, как например в частоте вспышек сверхновых, о чем говорится далее, на стр. 111. Полагаю, что стоило бы более подробно и явно обсудить эти систематические погрешности.

Эти недостатки не являются существенными и никак не влияют на высокое научное значение диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия, а ее автор **Свинкин Дмитрий Сергеевич**, заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Заведующий сектором научной поддержки
обсерватории Спектр-РГ отдела астрофизики
высоких энергий ФГБУН Институт космических
исследований Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
профессор РАН

С.Ю. Сазонов

Почтовый адрес: 117997 Москва,
ул. Профсоюзная 84/32,
ФГБУН Институт космических
исследований Российской академии наук

Телефон: 495 9133116

Электронный адрес: sazonov@iki.rssi.ru

Отзыв заверяю:
Ученый секретарь ИКИ РАН,
доктор физико-математических наук

А.В. Захаров

5 мая 2016 г.