

Отзыв официального оппонента

на диссертацию **Цветковой Анастасии Евгеньевны**

«Наблюдения гамма-всплесков с известным космологическим красным смещением 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 гамма-всплесков с измеренным красным смещением на основе уникального каталога событий, зарегистрированных в ходе многолетнего космического эксперимента Конус-Винд.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 146 страниц с 29 рисунками и 9 таблицами. Список литературы содержит 153 наименования.

Во введении описаны история исследований гамма-всплесков, а также современное состояние дел в измерении красных смещений и определении физических характеристик таких событий. Представленная информация очерчивает общий контекст исследований, проводившихся в рамках диссертационной работы. Далее, в первой главе представлено краткое описание аппаратуры и условий наблюдений в космическом эксперименте Конус-Винд.

Во второй главе представлена выборка гамма-всплесков с известным красным смещением, зарегистрированных в триггерном режиме в эксперименте Конус-Винд за 20 лет наблюдений. Эта выборка представляет собой уникальную базу для исследований гамма-всплесков не только благодаря своему значительному объему (150 событий, в том числе 11 «коротких» всплесков), но и потому, что широкий энергетический диапазон эксперимента Конус-Винд обеспечивает высокую эффективность при регистрации как мягких, так и жестких гамма-всплесков.

В третьей главе представлены методы и результаты временного и спектрального анализа излучения гамма-всплесков с измеренным красным смещением. Благодаря уже отмеченному выше широкому энергетическому диапазону (от 20 кэВ до 20 МэВ) чувствительности прибора Конус-Винд для большинства всплесков удалось с высокой надежностью исследовать форму спектра, в частности измерить положение излома и определить характер спада интенсивности выше излома (степенной или экспоненциальный). Соискатель проделал большую работу по систематическому измерению спектральных параметров и временных характеристик гамма-всплесков. Представленные результаты не вызывают сомнений в их достоверности, в том числе благодаря тому, что было проведено их сравнение с данными других экспериментов (CGRO-BATSE и Fermi-GBM) для нескольких событий. Полученный каталог спектральных и временных свойств гамма-всплесков используется в последующих частях диссертации и должен представлять большой интерес для исследователей гамма-всплесков.

Четвертая глава посвящена изучению энергетики гамма-всплесков. Здесь помимо информации о красных смещениях используется еще один тип сторонней

информации, а именно оценки фактора коллимации излучения по наблюдениям ахроматических изломов в кривых блеска послесвечений. В общей сложности удалось получить оценки поправленной за коллимацию излучения полной энергии и пиковой светимости для 32 событий, прошедших строгий отбор. Опять же стоит отметить важность проведенного соискателем сравнения результатов, полученных по данным экспериментов Конус-Винд и Fermi-GBM для 26 событий, которое подтвердило их надежность. Составленный каталог существенно расширяет статистику гамма-всплесков, для которых известны «внутренние» энергетические характеристики, и поэтому представляет большую ценность.

В пятой главе исследуются эффекты наблюдательной селекции, связанные с обнаружением гамма-всплесков в эксперименте Конус-Винд. Для каждого из всплесков выборки рассчитан «космологический горизонт» регистрации. Показано, что отсутствие на диаграмме пиковый «энергетический поток-пиковая энергия» ярких всплесков с мягким спектром не связано с эффектами селекции, а отражает реальные свойства популяции гамма-всплесков. На примере события GRB 110918A показано, что с помощью прибора Конус-Винд можно в принципе регистрировать гамма-всплески на красных смещениях больше 16, т. е. взрывы сверхновых в ранней Вселенной. Это дает надежду на то, что такие интереснейшие события будут действительно обнаружены в ближайшие годы.

Шестую главу, на мой взгляд, можно считать ключевой. В ней изучаются функции изотропной светимости и изотропного энерговыделения гамма-всплесков, а также космологическая эволюция этих распределений. Обнаружен экспоненциальный завал в функции энерговыделения, при том, что в функции светимости такой завал менее заметен или вовсе отсутствует вплоть до высоких значений изотропной светимости. Кроме того получены указания на то, что функции светимости и энерговыделения эволюционируют с красным смещением таким образом, что в более ранние эпохи гамма-всплески были в среднем более мощными. Правда, надо отметить, что этот результат является модельно-зависимым (в расчетах использовалось предположение о постоянстве формы функций светимости и энерговыделения) и характеризуется низкой статистической значимостью.

Седьмая глава посвящена изучению корреляций между спектральной жесткостью и энергетикой гамма-всплесков. Для «длинных» гамма-всплесков подтверждено существование корреляции между пиковой энергией интегрального спектра в системе отсчета всплеска и изотропным энерговыделением всплеска (соотношение Аматти), а также между пиковой энергией пикового спектра и изотропной пиковой светимостью (соотношение Йонетоку). Кроме того показано, что учет коллимации излучения не оказывает заметного влияния на параметры этих корреляций. Выявлена существенная дисперсия корреляций.

Характеризуя диссертацию в целом, следует отметить актуальность проведенных исследований, большой объем проделанной работы, новизну полученных результатов и тщательную проработку представленного материала. 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 несколько замечаний к диссертации:

1) В шестой главе, на мой взгляд, явно не хватает обсуждения измеренных функций светимости и энерговыделения гамма-всплесков. А именно, с чем может быть связано наличие экспоненциального завала в функции энерговыделения и его отсутствие в функции светимости? Как обнаруженная эволюция энергетических характеристик гамма-всплесков согласуется с современными представлениями об эволюции процессов звездообразования во Вселенной? Понятно, что эти вопросы остаются во-многом открытыми, но хотя бы краткое их обсуждение было бы полезным.

2) Приведенные в таблице 6.1 низкие значения «хи-квадрат» заставляют усомниться в адекватности применимости данной статистики при аппроксимации кумулятивных функций светимости и энерговыделения. Следовало бы подробно обсудить эту проблему.

3) Аналогично замечанию 1) выше, мне кажется, что в седьмой главе не хватает обсуждения научного значения измеренных корреляций между спектральной жесткостью и энергетикой гаммой-всплесков. В частности, есть ли перспективы использования соотношений типа Аматти и Йонетоку в космологии, несмотря на большую дисперсию этих корреляций?

Эти замечания 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 **Цветкова Анастасия Евгеньевна** заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Заведующий лабораторией экспериментальной астрофизики
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

Подпись С.Ю. Сазонова заверяю:
Ученый секретарь ИКИ РАН,
доктор физико-математических наук

А.В. Захаров

22 мая 2018 г.