

ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объединенного диссертационного совета 6D.KOA-055 при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, Таджикского Национального университета и Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

по диссертационной работе

Аттестационное дело № 4

Решение объединенного диссертационного совета от 6 июля 2023 г.,
протокол №12,

о присуждении Ризои Бахромзоду, гражданину Республики Таджикистан ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертация на тему: «Развитие методов выделения ливней от г-квантов очень высокой энергии по данным черенковских детекторов высокогорных установок», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», принята к защите 27 апреля 2023 года (протокол №8) объединенным диссертационным советом 6D.KOA-055 по защите диссертации при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (734063, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1), утвержденным приказом ВАК при Президенте Республики Таджикистан (ВАК РТ) от 30 мая 2022 г., № 170/шд.

Соискатель Ризои Бахромзод, 1991 года рождения, работает в должности ведущего научного сотрудника Международного центра ядерных исследований Физико-технического института им С. У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

Диссертация выполнена на кафедре физики космоса физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова и в Международном центре ядерных исследований Физико-технического института им С. У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

Удостоверения №1026 о сдаче кандидатских экзаменов выдано 06.02.2023г. Национальной академией наук Таджикистана.

Научный руководитель:

Галкин Владимир Игоревич – профессор кафедры физики космоса физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 — Физика атомного ядра и элементарных частиц

Официальные оппоненты:

1. Махсудов Барот Исломович

доктор физико-математических наук, профессор кафедры ядерной физики физического факультета Таджикского национального университета

2. Синицина Вера Георгиевна

кандидат физико-математических наук, ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева, Отделение ядерной физики и астрофизики, зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию Р. Бахромзода.

Ведущая организация: Институт ядерных исследований Российской академии наук (**ИЯИ РАН**) дала **положительный отзыв (от 09 июня 2023г.)**, подписанный председателем Научного совета Отдела ЛВЭНА, Зам. Директором ИЯИ РАН, д.ф.-м.н., профессором **Г. И. Рубцовым** и зав. лабораторией нейтринной астрофизики ИЯИ РАН, д.ф.-м.н. **Р. А. Мухамедшиным**.

В отзыве, в частности, указано, что диссертационная работа является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, которая в полной мере удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

По уровню и объему выполненных исследований, степени научной новизны и ценности полученных результатов диссертация «Развитие методов выделения ливней от γ -квантов очень высокой энергии по данным черенковских детекторов высокогорных установок», удовлетворяет требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, **Ризои Бахромзод**, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

В то же время, в отзыве ведущей организации сделаны следующие замечания:

1. Не объяснено, как было сделано формальное определение «проскочивших» ливней, которое часто используется в диссертации.
2. Неопределенности оценки направления и положения оси ливня приводятся для почти вертикальных ливней (зенитный угол 10 градусов). Большие наклоны не рассматриваются.

Вышеизложенные замечания совершенно не умаляют ценности большой работы, выполненной Р. Бахромзодом на высоком научном уровне.

На автореферат диссертации поступило 5 положительных отзывов от:

1. Профессора кафедры физики космоса – базовой кафедры Института астрономии РАН, Института физики, технологий и информационных

систем МПГУ, доктора физико-математических наук **Чаругина Виктора Максимовича, замечаний не имеются;**

2. Заведующего лабораторией теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия и переноса излучений в различных средах НИИЯФ им. Д. В. Скobelьцына МГУ им. М. В. Ломоносова, доктора физико-математических наук, **Рогановой Татьяны Михайловны, замечаний не имеются;**
3. Главного научного сотрудника Института математики им. А. Джураева НАН Таджикистана, член-корреспондента НАНТ, доктора физико-математических наук, **Мадвалиеева Умархона, имеется следующее замечание:**

Кроме грамматических и технических ошибок, можно указать на отсутствие учета искажения, выносимые детекторами, которые могут в свою очередь ухудшить точность определяемых величин.

4. Профессора кафедры теоретической физики Таджикского национального университета доктора физико-математических наук, **Солихова Давлата Кувватовича, имеются следующие замечания:**
 1. В тексте автореферата замечаются грамматические и технические ошибки, также отсутствие некоторых цитируемых источников.
 2. В тексте диссертации речь идет о направления оси телескопов в зенит, почему нельзя сделать так, чтобы телескопы следили за космическими объектами – источниками гамма-квантов?
5. Заведующего кафедрой астрономии физического факультета Таджикского национального университета, кандидата физико-математических наук, **Сафарова Абдулджалола Гафуровича, замечаний не имеются.**

В отзыве первого официального оппонента, д.ф.-м.н., Махсудова Б. И. по диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Очень подробно написана обзорная часть, можно было сократить некоторую часть.
2. Известно, что поток космических лучей и гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий очень мал, примерно 1 частица/($m^2 \cdot$ год), в этом плане площадь предлагаемой установки насколько хорошо обеспечивает набора достаточной статистики для анализа и получение выводов?
3. Почему всегда сравниваются результаты расчетов и моделирования только для следующих пар: γ 30 ТэВ – p 60 ТэВ и γ 50 ТэВ – p 100 ТэВ? В чем заключается причина выбора этих энергий?
4. Космические лучи и гамма-кванты могут попасть под разными углами на поверхность атмосферы, следовательно над поверхностью наблюдаемого

уровня. Почему были рассмотрены только ливни с малыми углами наклона или перпендикулярные ливни?

5. Дальнейшие перспективы этого эксперимента не известны. Но интересно было бы узнать мнение диссертанта по этому поводу.

В отзыве второго официального оппонента, к. ф.-м.н., Синициной В. Г. по диссертационной работе имеются следующие замечания, пожелания и предложения:

С точки зрения стилистики некоторые выражения в диссертации читаются тяжело, так как подобраны неудачно (например, на стр. 25, 39 и 41), что, скорее всего, связано с использованием оригинального английского текста. Некоторые опечатки, например, ссылка на несуществующий Рисунок 13 вместо Рисунка 2.4, могут затруднить понимание текста. Мелкие досадные опечатки встречаются, но они малосущественны. Например, на стр. 14, 22 и 23 оригинальное написание названий экспериментов Fermi-LAT, MILAGRO, Tibet AS γ перемежается с переведёнными или не совпадают по стилю начертания. На странице 23 в единицы измерения площади м² закралась опечатка и, в результате, написано м². Упоминание проекта ALEGRO на странице 25 в контексте будущих гамма-астрономических экспериментов, нацеленных на исследование при энергиях более 20 ТэВ, не корректно, поскольку планируемый рабочий диапазон энергии данной установки 5 – 50 ГэВ. Стоит отметить, что можно было бы более основательно подчеркнуть актуальность создания гибридной установки «Памир-XXI» и её большой потенциал в контексте обнаружения от Крабовидной туманности гамма-излучения с энергиями > 100 ТэВ.

Несмотря на высказанные замечания, носящие редакционный характер, диссертационная работа Ризой Бахромзода «Развитие методов выделения ливней от уквантов очень высокой энергии по данным черенковских детекторов высокогорных установок» выполнена на высоком профессиональном уровне.

По материалам диссертационной работы опубликовано 11 работ, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и 3 статьи в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

[1-A] Galkin, V.I. EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array / V.I. Galkin, A.S. Borisov, R. Bakromzod, V.V. Batraev, S. Latipova and A. Muqumov // EPJ Web of Conferences. – 2017. – Vol. 145. – P. 15004. DOI: [10.1051/epjconf/201614515004](https://doi.org/10.1051/epjconf/201614515004) – Impact factor: 0.347 (2018);

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85021894200&origin=inward&txGid=eb559fbc82e55138e54d1653b6827e1a>

[2-А] **Bakhromzod, R.** The search and analysis of optimal criteria for the selection of extensive air showers from - quanta by Cherenkov telescopes / R.Bakhromzod, V.I.Galkin // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. – 2021. – Vol. 1018. – P. 165842. DOI: 10.1016/j.nima.2021.165842 – Impact factor: 1.455 (2019); <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165842>

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85048585998&origin=inward&txGid=59ac8beccf1a2b12b10487fcfc5a363>

[3-А] **Бахромзод, Р.** Поиск оптимальных критериев для выделения широких атмосферных ливней от γ -квантов / Р. Бахромзод, В.И. Галкин // Ученые записки физического факультета Московского Университета. – 2018. – № 3. – 1830203.

[4-А] **Бахромзод, Р.** Анализ критерия отбора гамма-квантов по угловому распределению черенковского света установкой „Памир-XXI“ / Р. Бахромзод, В.И. Галкин // Ученые записки физического факультета Московского Университета. – 2019. – № 6. – 1960201.

[5-А] **Бахромзод, Р.** Проскочившие ливни и способы их выделения в высокогорных экспериментах по изучению космических лучей высоких энергий / Р. Бахромзод // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. – № 3. – С. 238-245.

Объединенный диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Актуальность исследования. Регистрация гамма-лучей очень высокой энергии (больше 1 ТэВ) считается очень важным достижением последних лет в астрофизике, она поставила перед учеными новые вопросы о механизмах генерации и источниках этих лучей, о распространении и взаимодействии гамма-квантов с межзвездным веществом и полями. Изучение высокоэнергичных гамма-квантов дает ответы на вопросы о происхождении и ускорении космических лучей сверхвысокой энергии и указывает на их источники или области ускорения, также вносить ясность в такие проблемы как темная материя, нарушение Лоренц-инвариантности, изучение ранней Вселенной и др.

Гамма-астрономия – важная часть современной астрофизики и физики элементарных частиц, которая занимается изучением космического гаммаизлучения.

Сложность изучения гамма-квантов очень высокой энергии заключается в невозможности прямого наблюдения, в силу очень низкого потока и непрозрачности земной атмосферы для этих лучей. В диапазоне

энергии от $2 \cdot 10^6$ эВ до $3 \cdot 10^{11}$ эВ успешно работает космический гамма-телескоп Fermi-LAT. Но космические частицы и гамма-кванты не доходят до Земли, поскольку взаимодействуют с атомами атмосферы, поэтому и наблюдать их напрямую наземными установками невозможно. Для изучения таких частиц и измерения их энергии приходится использовать специальный метод – регистрировать ливни из частиц, создаваемые космическими частицами высокой энергии в атмосфере Земли. Такие атмосферные ливни покрывают большие площади до сотен квадратных километров, что позволяет регистрировать события предельно высоких энергий с помощью установок из детекторов, распределённых по площадям сравнимых размеров.

Начиная с конца 30-х гг. XX в., свойства атмосферных ливней интенсивно исследуются многими учеными и исследовательскими группами. Суть явления состоит в том, что первичная частица высокой энергии, взаимодействуя с атомами атмосферы, образует ядерно-электромагнитный каскад, в котором энергия первичной частицы распределяется между вторичными частицами. Число вторичных частиц лавинообразно нарастает, и на уровне моря их число может достигать многих миллионов и миллиардов. Это явление называют широким атмосферным ливнем (ШАЛ). В ШАЛ существуют различные компоненты: электронно-фотонная, адронная, мюонная, излучение Вавилова-Черенкова, ионизационное и радиоизлучение.

Регистрируя различные компоненты ШАЛ, можно оценить параметры первичной частицы, которая создала этот ливень: направление её прихода, энергию и тип (массу). Заряженные частицы из-за отклонения в магнитных полях космического пространства теряют первоначальное направление, и по ним невозможно узнать направление на источник, но гамма-кванты в этом отношении имеют преимущества. Они не отклоняются в магнитных полях и при регистрации прямо указывают на источник излучения. В этом плане задачей гамма-астрономии является точное восстановления параметров первичного гамма-кванта. Это позволяет изучить процессы рождения гамма-квантов и физическое состояние источника гамма-излучения очень высокой энергии. Для всего этого необходимо детально изучать ШАЛ и по регистрации разных компонент правильно восстанавливать первичные параметры.

Научная новизна исследования:

- Была предложена новая методика для гибридной установки, предназначенной для регистрации черенковского света, которая позволяет определять первичные параметры ШАЛ (первичная энергия E_0 , направление прихода Θ , положение оси x_0 и y_0) и эффективно выделять γ -кванты из фона протонных событий.

- Были найдены физические причины работоспособности методики отбора γ -квантов на основании анализа данных статистического моделирования;
- Был найден алгоритм исключения проскочивших ливней, использующий свойства черенковского света ШАЛ и основывающийся на данных оптических детекторов.

Степень достоверности результатов. Для генерации искусственных событий использовался признанный во всем мире код CORSIKA, для каждого события сохранялась детальная информация о пространственно-временном и пространственно-угловом распределении черенковского света, а также полные стандартные файлы с информацией о вторичных частицах. При обработке использовались данные о фоне ночного неба в горах Восточного Памира. В работе использовались стандартные программные инструменты CERN и процедуры, реализующие общепризнанные численные методы.

Теоретическая и научно-практическая значимость исследования:

- предлагаемый способ анализа черенковского света ШАЛ может быть использован как для совершенствования критерия отбора гамма-ливней в черенковской гамма-астрономии, так и для улучшения разделения ШАЛ по массам первичных ядер при исследовании космических лучей сверхвысоких энергий;
- анализ физических причин работы найденных критериев создает основу для дальнейшего совершенствования критериев отбора гамма-событий;
- разработана конкретная гибридная методика анализа угловых и пространственно-временных распределений ЧС ШАЛ для высокогорных установок (практическая значимость).

Диссертация Ризои Бахромзод соответствует специальности специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему. Полученные результаты являются новыми и вносят вклад в развитие метеорологии, климатологии и агрометеорологии. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертации. Полученные диссидентом научные результаты обоснованы, и их достоверность не вызывает сомнений.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям Приложение 2 к постановлению Правительства Республики Таджикистан за №267 от 30.06.2021 г. в части, касающейся учёной степени кандидата наук.

С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана принял решение присудить Ризои Бахромзод ученую степень степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Состав объединенного диссертационного совета утверждён в количестве 15 человек. Присутствовало на заседании 13, из них 3 доктора наук и 2 кандидата наук по специальности – 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики». Проголосовали: за присуждение ученой степени – 13; против присуждения ученой степени – нет; недействительных бюллетеней – нет.

**Председатель объединенного
диссертационного совета**

**6D.KOA-055 при Физико-техническом
институте им. С.У. Умарова НАНТ,
д. ф.-м. н., профессор**



С. Ф. Абдуллаев

**Ученый секретарь
объединенного диссертационного совета
6D.KOA-055 при Физико-техническом
институте им. С.У. Умарова НАНТ,
д. ф.-м. н., профессор**

Д.М. Акодов