

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Латиповой Сарвиноз Зикуллоевны на тему «**Оценка энергии и направления первичной частицы по образу широкого атмосферного ливня в оптических детекторах установки Памир-XXI**» по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

### *1. Соответствие диссертации тематики специальностей и отраслей науки, по которым она представляется к защите.*

В диссертационной работе Латиповой С.З. на тему «Оценка энергии и направления первичной частицы по образу широкого атмосферного ливня в оптических детекторах установки Памир-XXI» предложены теоретические методы и способы оценки первичной энергии и направления прихода космических лучей в диапазоне энергий 1-100 ПэВ. В данной работе рассматриваются искусственные события широких атмосферных ливней (ШАЛ) от первичных различных ядер с энергией 1-100 ПэВ для установки «Памир – XXI», смоделированные с помощью пакета CORSIKA. Диссертация содержит обоснование целесообразности проведения таких исследований, включающих как проведение численных расчётов, так и их теоретического анализа. Анализ диссертации показывает, что по методам моделирования и использованному математическому аппарату она соответствует отрасли «физико-математических наук» и паспорту специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

### *2. Актуальность темы диссертации.*

Особую значимость в современной астрофизике приобретает изучение космических лучей сверхвысоких энергий, их происхождение и параметры. В таких случаях акцент делается на определение таких первичных характеристик частиц, как энергия, тип, масса, направление прибытия и положение оси ШАЛ. Эти данные необходимы для решения ряда астрофизических задач, преимущественно связанных с методами исследования обширных атмосферных ливней (ШАЛ). Важнейшими задачами в этом направлении являются определение энергетического спектра, массового состава и исследование анизотропии крайне энергичных событий.



Для достижения этих целей применяется методика регистрации черенковского света, который возникает при прохождении широких атмосферных ливней через атмосферу Земли. Этот метод позволяет с высокой степенью точности определять параметры первичных космических лучей, способствуя глубокому пониманию их происхождения и природы.

Необходимым условием для прогресса в данной области является детальное моделирование развития ШАЛ, что включает в себя анализ физических процессов, происходящих при взаимодействии частиц высоких энергий с атмосферой Земли. Разработка методов для точного определения первичных параметров космических лучей необходима для уточнения существующих теоретических моделей и улучшения качества экспериментально полученных результатов.

Особенно важным является учет различий в характеристиках ШАЛ на разных высотах, например, в горных условиях по сравнению с высотами над уровнем моря. Это знание необходимо для разработки и усовершенствования методик регистрации и интерпретации данных, а также для создания новых подходов, основанных на детальном моделировании ШАЛ и использовании различных типов детекторов.

В рамках проекта «Памир-XXI» была поставлена задача создания комплексной установки нового поколения на высоте около 4250 метров над уровнем моря в горах Восточного Памира. Для эффективного планирования, проектирования и создания таких установок требуется проведение тщательного моделирования, а также разработка методов обработки экспериментальных данных.

Подобные исследования активно проводятся в ведущих научных центрах мира, включая США, Японию, Россию, Китай и ряд европейских стран, тем самым подчеркивая международный интерес и актуальность проблемы. Разработка методов обработки экспериментальных данных имеет принципиальное значение, так как позволяет научно обосновать выбор местоположения и конфигурации детекторов для получения новых научных данных.

В заключение следует отметить, что исследования, направленные на моделирование и анализ работы детекторов черенковского излучения в условиях максимально приближенных к реальным высокогорным установкам, имеют актуальное значение. Исследования базируются на анализе установленных закономерностей, с учетом современных представлений в физике и технике, что



обеспечивает основу для разработки практически ориентированных методов и подходов.

### ***3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту***

Выносимые на защиту положения являются новыми. К наиболее важным результатам диссертационного исследования можно отнести:

1. Аппроксимации фронта и поперечного распределения черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1 и 100 ПэВ.

2. Создание алгоритма оценки первичного направления и положения оси ливня для ШАЛ от разных первичных ядер по данным распределенной сети быстрых оптических детекторов.

3. Оценка направления прихода первичной частицы и положения оси ШАЛ с помощью сети быстрых оптических детекторов Памир-XXI, оценка соответствующих ошибок.

4. Процедура оценки энергии ШАЛ по интегралу ЧС.

5. Поправки к оценкам энергии для проскочивших ливней по крутизне ФПР ЧС.

#### ***4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.***

В ходе научного исследования были применены различные современные методики, включая использование международно признанного программного кода CORSIKA для создания искусственных событий. Для каждого события была зафиксирована обширная информация, охватывающая как пространственно-временное, так и пространственно-угловое распределение черенковского излучения, а также предоставлялись полные данные о вторичных частицах. Анализ включал использование данных о фоновом свете ночного неба в районе Восточного Памира. Исследование опиралось на стандартные программные инструменты ЦЕРН и методы численного анализа, признанные в научном сообществе.

Утверждения, сформулированные в диссертационной работе, наделены достоверностью, что косвенно подтверждается их соответствием с данными из существующей литературы, и данными, полученными с помощью других методов. Заключение по итогам проведенных исследований, которые были тщательно



обсуждены на научных семинарах и конференциях и опубликованы в научных журналах, сформулированы с должной точностью и опираются на результаты этих дискуссий.

#### ***5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их практическому применению.***

Диссертационная работа Латиповой С.З. вносит собой значительный вклад в области регистрации космических лучей сверхвысоких энергий. Новизна исследования заключается в разработке новых методов аппроксимации и анализа черенковского света от широких атмосферных ливней (ШАЛ), что позволяет точнее оценивать первичную энергию и направление прихода частиц. Разработанные методы и алгоритмы значительно расширяют возможности изучения энергетического спектра и массового состава первичных космических лучей.

Исследование имеет важное прикладное значение, особенно в контексте проекта «Памир-XXI». Разработанные методы и техника могут быть непосредственно применены в конструкции и функционировании оптических установок для регистрации ШАЛ. Это позволит получать более точные данные о первичных космических лучах сверхвысоких энергий, что, в свою очередь, способствует развитию космической физики и астрофизики.

Результаты исследования могут способствовать повышению экономической эффективности в сфере космических и астрофизических исследований, поскольку предлагаемые методы и алгоритмы позволяют сократить затраты на анализ данных и повысить точность измерений, что важно для долгосрочных и крупномасштабных исследовательских проектов.

Результаты диссертации могут быть использованы для оптимизации и улучшения конструкции черенковских детекторов и телескопов, используемых в астрофизических исследованиях. Также они могут быть применены для разработки новых методов обработки данных, что значительно повысит эффективность исследований в этой области.

#### ***6. Опубликованные результаты диссертации в научной печати***

Основные результаты диссертации были представлены в ряде национальных, всероссийских и международных конференций, посвященных обсуждению проблем в



выбранной соискателем области, а также опубликованы в периодической печати, удовлетворяющей требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

### **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Она написана хорошим русским и грамотным научным языком. В ней содержится незначительное число несоответствий редакционного плана. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационного исследования.

В диссертационной работе имеется ряд технических и грамматических ошибок, также требуется уточнение по следующим вопросам или замечаниям:

1. В списке сокращений приводятся ссылки, а сами сокращения не расшифровываются.
2. Некоторые приведенные рисунки имеют низкое качество или непропорционально форматированы.
3. На таблице 1 в тексте диссертации автор ссылается на страницу 51, а сама таблица находится на странице 57, но там совсем другие данные.
4. Чем обусловлен выбор именно энергий 1-100 ПэВ и выбранных типов первичных ядер (протон, ядра азота и железа)?
5. В диссертации не отражена возможность применения данного метода для более низких высот, чем выбранная высота 4250 м н.у.м.
6. Известно, что поток космических лучей сверхвысоких энергий очень мал: позволяет ли небольшая площадь установки, выбранная в рамках проекта «Памир-XXI», набирать достаточную статистику для достоверных научных выводов?
7. В диссертации не приведены сравнения основных характеристик планируемой установки с другими существующими экспериментальными установками в мире для аргументации преимущества защищаемого метода.

Отмеченные выше замечания несколько затрудняют восприятие и понимание диссертации, но несколько не влияют на ее научную ценность и достоверность представленных результатов. Несмотря на некоторые языковые и стилистические недочеты, основная суть исследования, а также его методологическая основа и выводы остаются неизменными и представляют значительный интерес в своей области.



**8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

На основании анализа диссертации в целом, используемых методов исследования и полученных результатов, можно сделать заключение, что диссертационная работа Латиповой С. З. на тему «Оценка энергии и направления первичной частицы по образу широкого атмосферного ливня в оптических детекторах установки Памир- XXI» по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, полностью удовлетворяет критериям Приложения 2 Постановления Правительства Республики Таджикистан за № 267 от 30.06.2023 г. в части, касающейся учёной степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

**Официальный оппонент,**

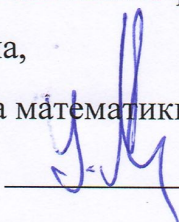
доктор физико-математических наук

(01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики),

член-корреспондент НАН Таджикистана,

Главный научный сотрудник Института математики

им. А. Джураева НАН Таджикистана



**Умархон Мадвалиев**

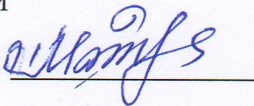
*Адрес:* 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/4

*Тел.:* +992935050231, *E-mail:* umarkhon@mail.ru

Подпись Мадвалиева У. заверяю

Начальник ОК Института математики

им. А. Джураева НАН Таджикистана



Дата: 08 « 01 » 2024 г.