

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «ИЯИ РАН»
член-корр. РАН

М.В.Либанов

« 09 » июня 2023 г.



ОТЗЫВ

ведущего учреждения на диссертацию Бахромзода Ризои «Развитие методов выделения ливней от γ -квантов очень высокой энергии по данным черенковских детекторов высокогорных установок», представленную к защите в диссертационный совет 6D.KOA-055 при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Актуальность темы диссертации – несомненна. В современной экспериментальной астрофизике регистрация гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий – очень важная и весьма актуальная область научных исследований. Регистрируемое черенковскими детекторами γ -излучение от источников в Галактике и Метагалактике, не искаженное межзвездными магнитными полями, даёт нам очень ценную информацию как о самих источниках, так позволяет судить о характеристиках межзвездной среды. Начиная с восьмидесятых годов прошлого столетия, имеет место стремительное развитие экспериментальных технологий черенковской γ -астрономии. В результате чувствительность наземных γ -телескопов повысилась в десятки раз, что позволило резко увеличить число наблюдаемых источников γ -излучения. В частности, сравнительно недавно высокогорная обсерватория LHAASO (Китай) зарегистрировала ливень от γ -кванта с энергией порядка 1000 ТэВ (1 ПэВ), т.е впервые обнаружила галактический источник – т.н. певатрон. Это открытие ещё раз иллюстрирует особое значение высокогорных черенковских γ -обсерваторий, нацеленных на регистрацию γ -квантов сверхвысоких энергий.

Однако в подобных исследованиях γ -квантов высокой энергии, инициирующих ядерно-электромагнитные каскады (т.н. широкие атмосферные ливни, ШАЛ) в атмосфере, которые создают, в свою очередь, черенковский свет, регистрируемый наземными установками, имеется большое число трудностей. Главной из них является выделение каскадов от γ -квантов из очень большого фона от каскадов, инициируемых протонами и другими ядрами первичного космического излучения (ПКИ) высоких энергий. Р. Бахромзод выбрал для исследования именно проблему выделения каскадов от γ -квантов на преобладающем фоне адронных ливней на основании данных детекторов атмосферного черенковского света. Таким образом, **научная значимость цели работы** является неоспоримой.

Научная новизна работы выражается в том, что в диссертации Р. Бахромзода предлагается **новый** метод регистрации γ -квантов с энергиями от 30 ТэВ и выше по угловому и пространственно-временному распределениям черенковского света ШАЛ в атмосфере. Диссидентом предлагается использовать **новый** критерий выделения γ -

квантов, а именно, используя форму черенковских образов ливней, регистрируемую в поле зрения растрового телескопа. Этот критерий, во-первых, существенно отличается в лучшую сторону от классического метода параметров Хилласа, широко используемого в течение многих лет в соответствующих экспериментах, и, во-вторых, является более подходящим для анализа в данной области энергий на высоте Памира, поскольку его использование позволяет подавить фон, создаваемый ядерной компонентой ПКИ не менее, чем на два порядка. Диссертантом был сформулирован следующий механизм работы критерия, заключающийся в том, что области черенковского образа, которые соответствуют разным стадиям развития ШАЛ в атмосфере, были определены с помощью численной оптимизации. Расчеты показали, что отношение мощностей излучения этих областей различается для γ - и адронных ливней.

Практическая ценность работы состоит в том, что её результаты получены для практического применения в рамках работы оптической части установки проекта «Памир-XXI» на полигоне «Колуч-Куль», расположенного на высоте 4260 м н.у.м. и отличающегося прекрасным астроклиматом. В диссертации также были разработаны такие необходимые для проведения реального эксперимента аспекты, как алгоритмы определения энергии и направления частицы ПКИ, координат точки пересечения осью ШАЛ уровня наблюдения. Кроме того, диссертант исследовал неопределенности применяющейся методики, получил оценку влияние фона ночного неба на эти неопределенности и, что важно, проанализировал возможности уменьшения этого влияния.

В диссертации также разработан оригинальный метод фильтрации ШАЛ, инициированных частицами ПКИ с энергиями, близкими к порогу, первое взаимодействие которых имело место глубоко в атмосфере (т.н. «проскочившие» частицы, в основном, протоны). Это важно, поскольку игнорирование этого эффекта может приводить к недооценке первичной энергии и искажать реальную картину процессов в атмосфере.

При условии применения новой методики детектирования ШАЛ и обработки данных, разработанной в диссертации Р. Бахромзода, обеспечивает оптической части установки «Памир-XXI» угловое разрешение не хуже 0,1 градуса дуги и позволяет изучать как точечные, так и диффузные источники γ -квантов. При этом оптическая часть установки «Памир-XXI» будет иметь чувствительность в диапазоне энергий γ -квантов 30-100 ТэВ на уровне детекторов международного проекта СТА.

Р. Бахромзод проявил способности к самостоятельной исследовательской работе. Вклад диссертанта в изложенные в диссертации результаты является весьма значительным, а в некоторых направлениях – определяющим. Лично автором выполнен весь объём работ по обработке искусственных ШАЛ, в частности, оптимизация разработанных алгоритмов, разработка и оптимизация критериев отбора γ -ливней из всего набора ШАЛ. Кроме того, лично диссертантом были получены оценка неопределенностей восстановления первичных параметров ливней, а также оценка чувствительности установки к γ -источникам.

К диссертации можно сделать 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. Несомненно, результаты, выносимые на защиту, представляют передний фронт современных астрофизических исследований.

Основные результаты диссертационной работы Р. Бахромзода опубликованы в отечественных и зарубежных журналах и неоднократно докладывались на международных, российских и таджикских конференциях по космическим лучам и физике высоких энергий.

Диссертация Р. Бахромзода является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, которая в полной мере удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Рекомендую диссертацию Бахромзода Ризои «Развитие методов выделения ливней от γ -квантов очень высокой энергии по данным черенковских детекторов высокогорных установок» к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

По материалам диссертации опубликовано 11 печатных научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и 3 статьи в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

По уровню и объему выполненных исследований, степени научной новизны и ценности полученных результатов диссертация удовлетворяет требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Р. БАХРОМЗОД заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Отзыв составил зав. лаб.

нейтринной астрофизики ИЯИ РАН,
д.ф.-м.н.



Р.А. Мухамедшин

Председатель Научного совета Отдела ЛВЭНА,

Зам. директора ИЯИ РАН,
д.ф.-м.н., профессор



Г.И. Рубцов