

ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



УДК: 524.1 (575.3)

ЛАТИПОВА Сарвиноз Зикуллоевна

**ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЧАСТИЦЫ ПО
ОБРАЗУ ШИРОКОГО АТМОСФЕРНОГО ЛИВНЯ В ОПТИЧЕСКИХ
ДЕТЕКТОРАХ УСТАНОВКИ ПАМИР- XXI.**

01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук

Душанбе - 2023

**Работа выполнена на кафедре ядерной физики Таджикского
национального Университета совместно с НИИЯФ МГУ им Д.В
Скобельцына МГУ имени М. В Ломоносова.**

Научный руководитель – Галкин Владимир Игоревич,
доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры физики космоса физического
факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

Официальные оппоненты –

Ведущая организация: – Казахский Национальный Университет
имени Аль-Фараби

Защита диссертации состоится “25” января 2024 г. в 14 00 часов на заседании
Объединенного диссертационного совета 6D.KOA-055 при Физико-
техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук
Таджикистана, по адресу: 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе,
проспект Айни, 299/1, факс (+992-372)25- 79-14. Зал заседаний Ученого совета
ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ. E-mail: shuro.ift@gmail.com. С диссертацией
можно ознакомиться в научной библиотеке Физико-технического института
им.

Автореферат разослан «_24_» _декабря_ 2023 года

Ученый секретарь
диссертационного совета **6D.KOA-055**,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Акдодов Д.М.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Одной из актуальных проблем астрофизики является вопрос о происхождении космических лучей сверхвысоких энергий. Задачи определение параметров первичных частиц, такие как первичная энергия, тип частицы, массы, направления прихода и положение оси являются фундаментальными задачами физики и астрофизики частиц сверхвысоких энергий. Именно знание этих параметров существенно для большинства астрофизических задач, решаемых методом ШАЛ. Эти классические задачи определения энергетического спектра, массового состава и, может быть, исследование анизотропии для самых энергичных событий. Конкретная задача работы заключается в решении проблемы первичных параметров, решить одну из классических задач физики космических лучей, а именно, получить энергетический спектр и определить первичные направление первичных космических лучей (ПКЛ) сверхвысоких энергий, важные с точки зрения астрофизики частиц сверхвысоких энергий.

Степень изученности научной проблемы и методологическая основы исследований. Характеристики ШАЛ на высотах гор заметно отличаются от таковых на уровне моря, что необходимо учитывать при построении методики оценки параметров первичной частицы. Это особенно важно, если ставится задача усовершенствовать существующие методы регистрации или даже выработать новые, основанные на детальном моделировании развития ШАЛ и использующие детекторы разных типов. Такая задача была поставлена в рамках проекта «Памир-XXI», предполагавшего создание комплексной установки нового поколения в горах Восточного Памира на высоте ~ 4250 м над уровнем моря. На сегодня перспективы реализации проекта не ясны, но расчётная и методическая работа продолжается. Результаты её могут быть полезны как для других высокогорных проектов, так и для метода ШАЛ вообще. В этой работе акцент делается на регистрации ШАЛ от первичных частиц в диапазоне энергий от 1 ПэВ до 100 ПэВ, методики оценки их параметров. 29 августа 2008 г. между Правительством Республики Таджикистан и Правительством Российской Федерации было подписано Соглашение о создании и деятельности Международного научно-исследовательского центра «Памир-Чакалтая». В рамках деятельности этого центра предполагалось строительство новой, большой гибридной установки – «Памир-XXI». Проект «Памир-XXI» планировался как комплексное исследование первичного космического излучения (ПКИ) в широком диапазоне энергий $3 \cdot 10^{12}$ эВ – 10^{18} эВ и характеристик ядерного взаимодействия, не доступных для изучения на ускорителях. Большая высота наблюдения (4250-4260 м над уровнем моря) даёт определенные преимущества для решения астрофизических задач: изучения энергетического спектра и направления прихода ПКЛ. Несмотря на то, что в данный момент статус этого эксперимента не определен, мы продолжили развивать методы обработки сигнала и определения первичных параметров частицы в надежде на возобновление проекта «Памир-XXI». Для

планировки, проектирования и создания экспериментальных установок необходимо провести тщательное моделирование и нужно разрабатывать способы обработки экспериментальных данных. Данное исследование направлено на решение этих задач.

Связь исследования с программами (проектами), научной тематикой. Тема диссертационного исследования, в основном, соответствует Приоритетным направлениям научных и (или) научно-технических исследований и выполнена в рамках проекта «ПамирXXI». Исследование направлено для реализации Плана мероприятий на 2020-2025 годы по реализации объявления 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, 5 точных и математических предметов в сфере образования и науки» утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июля 2020 года, №427.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель диссертационной работы:

1. Создание алгоритма оценки первичного направления для расчетных моделей фронта и поперечного распределения черенковского света ШАЛ от разных первичных ядер.

2. Создание алгоритма оценки энергии первичных космических ядер при энергиях выше 10^{15} эВ (1ПэВ).

3. Определение точности оценки направления прихода, положения оси и энергии ШАЛ от первичной частицы в диапазоне энергий 1-100 ПэВ.

Задачи диссертационной работы являются:

1. Ставится задача выработать общие требования к набору черенковских детекторов, оптимизированному для решения проблемы оценки массы/типа первичной частицы.

2. Предлагаемый вариант оптической части установки будет анализировать импульсы (пространственно-временное распределение) ЧС и угловые черенковские образы (пространственно-угловое распределение ЧС) и для этого будет включать широкую сеть быстрых оптических детекторов и несколько широкоугольных телескопов.

3. Оптическая часть установки использует пространственно-временные и пространственно-угловые характеристики ЧС для оценки характеристик первичной частицы и, следовательно, должна включать два набора детекторов для решений задач об энергетическом спектре и массовом составе:

а) прямоугольную сетку 11 x 11 широкоугольных быстрых детекторов площадью ~ 1.0 м² и апертурой ~ 1 ср, размещенных с шагом 25 м, позволяющую определять направление поступления ливней с достоверностью не хуже $0,1^\circ$, положение оси с точностью ~ 1 м и энергии с точностью около 15% и анализировать форму черенковского импульса;

б) оптические телескопы с зеркальной площадью ~ 4 м², полем зрения диаметром около 30° и диаметром пиксела $\sim 0,8^\circ$, раздвинутые на 100-150 м

друг от друга, позволяют анализировать пространственно-угловое распределение черенковского света вблизи оси, чувствительное к массе первичной частицы, причем методика разделения ядер по массе существенно опирается на точное определение направления первичной частицы.

Объектами исследования является изучение ПКЛ в области сверхвысоких энергий ($E_0 > 10^{15}$ эВ). Изучение астрофизических аспектов характеристик ПКЛ при сверхвысоких энергиях.

Предметом исследования является новая технология измерения черенковского света ШАЛ, использующая набор из нескольких оптических телескопов с зеркалами площадью 2-4 м², размером поля зрения не менее 20 ° и пикселями диаметром 0,5-0,8 °, способных различать ливни, инициированные различными первичными ядрами, а также сеть быстрых широкоугольных (40-50 °) оптических детекторов с размером ячейки ~ 30 м, которая может определить направление прихода ШАЛ с высокой точностью (~ 0,1°), а также положение оси ливня и энергию первичной частицы.

Методы исследования. Частью метода ШАЛ является оптическая методика черенковского света (ЧС). Регистрация ЧС используется для изучения ШАЛ на протяжении более пятидесяти лет. Есть много причин считать ЧС ШАЛ более информативным, чем другие компоненты ШАЛ, а именно электроны, позитроны, мюоны, адроны, радиоизлучение и флуоресцентный свет. Постепенно развитие вычислительной техники позволило реализовать расчёт характеристик ШАЛ методом Монте-Карло, дающим возможность количественно анализировать флуктуации измеряемых характеристик.

Областью исследования является изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики, Разработка методов математической обработки экспериментальных результатов. Моделирование физических явлений и процессов, а именно 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Основная информационная и экспериментальная база.

Информационной базой настоящей диссертационной работы являются научные труды: учебники, статьи периодических научных журналов, материалы научных конференций, диссертации и монографии, посвященные изучением характеристик ПКЛ и модели адронных взаимодействий.

При выполнении диссертационной работы были использованы экспериментальные базы данные искусственных событий, полученные с помощью моделирующих программ мирового уровня.

Достоверность диссертационных результатов. Моделирование и обработка проводились с помощью кодов CORSIKA, MINUIT и ROOT, широко используемых в мировой практике. Результаты моделирования сопоставлялись с результатами, полученными на других аналогичных установках, а также проводились публикации по данной тематике.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

1. Проведены аппроксимации фронта и поперечного распределения черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1-100 ПэВ для установки Памир - XXI.

Выбран вид аппроксимирующих функций для фронта и ФПР ЧС ШАЛ.

2. Создан алгоритм аппроксимации и анализа ошибок для оценки первичной энергии, положения оси, направления прихода и расчетные модели для черенковского фронта и поперечного распределения черенковского света ШАЛ от разных первичных ядер.

3. Проведены процедура оценки направления прихода ШАЛ и положение оси первичной частицы.

4. Определены ошибки оценки направления ШАЛ для вертикальных и наклонных ливней по пространственно-временному распределению черенковского света (ЧС).

5. Разработана процедура оценки направления прихода ШАЛ и положение оси первичной частицы, проведено минимизация.

6. Разработана процедура оценки энергии ШАЛ по интегралу ЧС и введены поправки к оценкам энергии для проскочивших ливней по крутизне ФПР ЧС.

Теоретическая значимость работы:

1. Планируется существенно продвинуть вперед решение обеих классических задач, поставленные перед установками ШАЛ (и проблемы модели взаимодействия) на основе новых подходов, в рамках проекта Памир-XXI.

2. Настоящая работа не касается адронных исследований в стволах ШАЛ. Она рассматривает возможности решения традиционных астрофизических задач: изучения энергетического спектра и массового состава ПКИ и регистрации γ -квантов сверхвысокой энергии как от точечных, так и от диффузных источников. Наша логика решения этих задач несколько отличается от используемой в прошлых и настоящих экспериментах.

3. Ставится задача, создать набор черенковских детекторов, оптимизированный для решения проблемы оценки массы/типа первичной частицы.

4. Предлагаемый вариант оптической части установки будет анализировать импульсы (пространственно-временное распределение) ЧС и угловые черенковские образы (пространственно-угловое распределение ЧС) и для этого будет включать широкую сеть быстрых оптических детекторов и несколько широкоугольных телескопов.

Практическая значимость работы. Конкретная задача работы заключается в формулировке общих черт конструкции и демонстрации возможностей установки для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ), которая может решить одну из классических задач физики космических лучей, а именно, получить энергетический спектр и массовый

состав первичных космических лучей (ПКЛ) сверхвысоких энергий, важные с точки зрения астрофизики частиц сверхвысоких энергий.

На защиту выносятся следующие результаты научной деятельности:

Разработаны основные научные выводы. На защиту выносятся следующие результаты научной деятельности;

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

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

3. Оценки направления прихода первичной частицы и положение оси ШАЛ с помощью сети быстрых оптических детекторов Памир — XXI, оценки соответствующих ошибок.

4. Процедура оценки энергии ШАЛ по интегралу ЧС

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

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Тема диссертационного исследования соответствует Паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики, в частности следующим пунктам:

1. Изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики.

2. Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений. Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики. Разработка методов математической обработки экспериментальных результатов. Моделирование физических явлений и процессов.

Личный вклад автора состоит в поиске и анализе литературных данных по выбранной теме, подготовке модельных расчётов и проведение моделирования, обработке результатов моделирования, их обсуждении и подготовке материалов к публикации.

Этапы исследования – планирование, моделирование, обработка искусственных событий **и их использование**, определить инструменты для определения первичных характеристик ШАЛ, получить результаты и сделать выводы.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Основные результаты исследований докладывались на следующих международных, всероссийских и республиканских конференциях: 3rd international cosmic rays workshop ICRW-2013 (Душанбе 2013) ; на Международной школе «Микромир и макромир» (Москва 2012 и 2013), Республиканская конференция по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических химических и медицинских объектов, Душанбе, Таджикистан, 2014; Международной школе молодых ученых стран СНГ «Смежные проблемы физики и астрофизики частиц сверхвысоких энергии» (Душанбе-2014) ; Международная школа молодых ученых стран СНГ. (Алматы-Казахстан, 24 - 30 сентября 2017 года); Международная школа молодых ученых стран СНГ. (Алматы-Казахстан 2018 года); Cambridge Central Asia Forum”- (Астана -Казахстан, 23.04.2018 - 25.04.201); 16-ая ШАЛ Курчатовская, междисциплинарная молодёжная научная школа. (Москва — 6-9-11.2018); Международная школа молодых ученых стран СНГ. (Иссык-кул Киргизия - 17-22 сентября 2019 года); онлайн конференция по темам Международного научно-исследовательского центра “Памир-Чакалтая”. (27-февраля – 10-марта 2021г) и ежегодные республиканские апреловские конференции ТНУ, Душанбе. С 2012 до 2022. Автор выступал с докладами на научных семинарах; научные семинары физического факультета Таджикского национального университета (ежегодно).

Опубликование результатов диссертации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 8 работ, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и 4 статьи в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2 тезисов и докладов в материалах международных и республиканских научных конференций.

С

т

р

у **Ключевые слова:** широкие атмосферные ливни, черенковский свет, быстрые оптические детекторы, оптическая часть установки, направление прихода, положения оси (ШАЛ), время прихода, фотоэлектроны, статистическое моделирование, оценка энергии, проскочившие ливни.

р

а

и

о

б

ь

е

м

д

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка использованной литературы.

Во введении обоснована актуальность, цель работы, новизна, теоретическое и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, апробации работы, публикации.

Приведены обзор экспериментов и основные результаты по космическим лучам высоких энергий. Описаны первичные параметры, методы их исследование и черенковские установки, которые изучают компоненты ШАЛ. Приведены примеры оценки первичных параметров различными методами и установками.

В первой главе приводится анализ литературных данных по классическими задачами физики космических, энергетического спектра и массового состава ПКИ. В области сверхвысоких энергий ($E_0 > 10^{15}$ эВ), энергии и типа первичной частицы по характеристикам ШАЛ. Природа источников галактических космических лучей (КЛ) высоких и сверхвысоких энергий. Энергетический спектр КЛ, наблюдаемых на Земле. Колено при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ. Исследование энергетического спектра и массового состава КЛ с энергией выше 10^{15} эВ с помощью регистрации ШАЛ.

Во второй главе приведены общие описание установки Памир-XXI нового поколения на основе двух оригинальных подходов: новой технологии измерения черенковского света ШАЛ, использующей набор из нескольких оптических телескопов с зеркалами площадью 2-4 м², размером поля зрения не менее 20 ° и пикселями диаметром 0,5-0,8 °, способных различать ливни, инициированные различными первичными ядрами, а также сеть быстрых широкоугольных (40-50 °) оптических детекторов с размером ячейки ~ 30 м, которая может определить направление прихода ШАЛ с высокой точностью (~ 0,1°), а также положение оси ливня и энергию первичной частицы; нового типа центрального калориметра, совмещенного с эмульсионной камерой, который будет изучать адроны высоких энергий в стволах ливней и использовать данные сцинтилляторных слоев как целеуказание для эффективного поиска событий в слоях рентгеновской эмульсии.

В третьей главе показано выбор функций фронта и пространственно-углового распределения (ПУР) ЧС ШАЛ для определения первичных параметров. Определены ошибки первичного направления и положение оси для ЧС ШАЛ от различных ядер в диапазоне энергии 1-100 ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря. Показано полная процедура определения положения и направления оси ШАЛ сетью быстрых оптических детекторов ПАМИР-XXI. На рисунке 1 приведены аппроксимации среднего фронта ($\tau(R)$) и флуктуаций ($\delta\tau(R)$) фронта черенковского света ШАЛ от первичного ядра He с энергий 1 ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря.

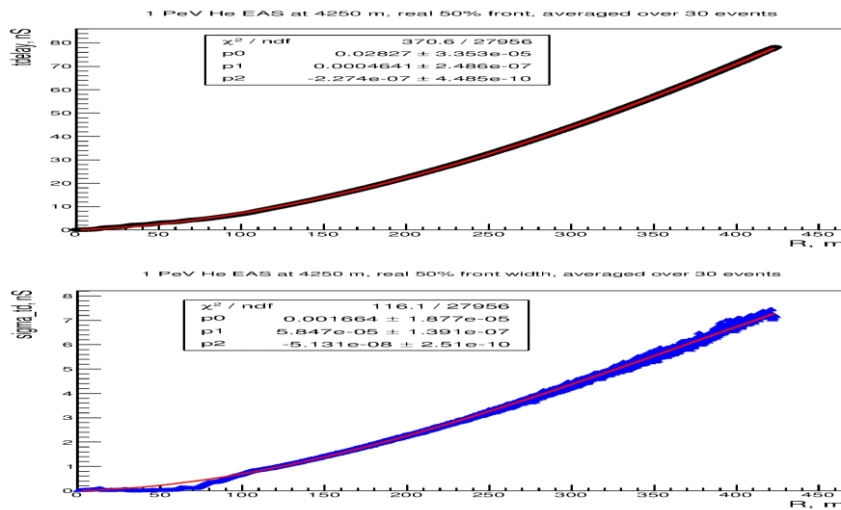


Рисунок 1. Аппроксимации (красные линии) среднего фронта и флуктуаций фронта света ШАЛ от первичного ядра He с энергией 1 ПэВ и расчетные данные (черные и синие треугольники). Аппроксимирующие функции: $F(R)=P_0*R+P_1*R^2+P_2*R^3$

На рисунке 2 приведены аппроксимации среднего поперечного распределения (Q(R),) и флуктуаций поперечного распределения черенковского света ШАЛ от первичного ядра He с энергий 1 ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря.

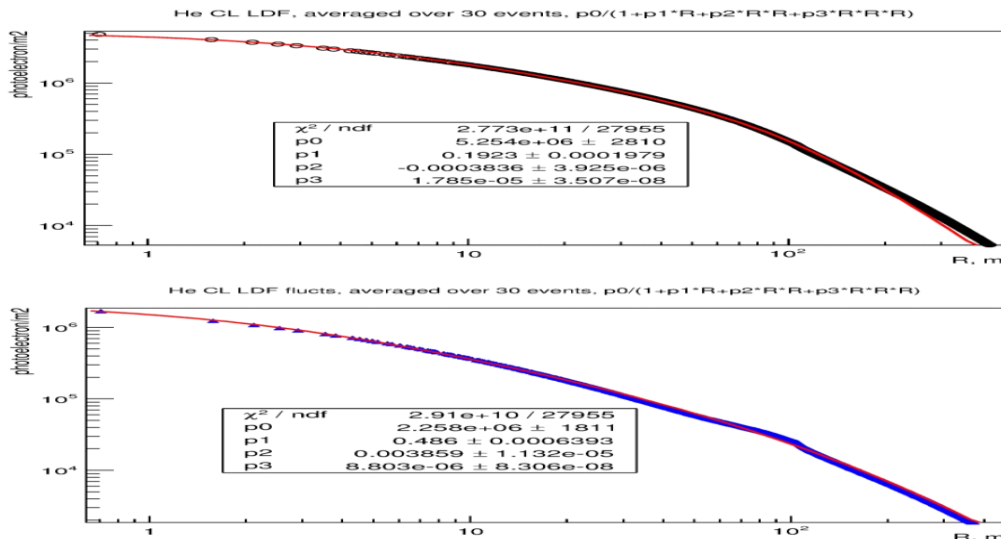


Рисунок 2. Аппроксимации (красные линии) среднего поперечного распределения и флуктуаций поперечного распределения черенковского света ШАЛ от первичного ядро He с энергий 1 ПэВ и расчетные данные (черные кружки и синие треугольники)

Аппроксимации Q(R), $\delta Q(R)$, $\tau(R)$, $\delta\tau(R)$ для протонных ливней были использованы для создания процедуры определения положения оси и направления прихода протонных ливней с различными зенитными (0-30°) и

азимутальными углами (0-360°) [1-3]. Направления ливней восстанавливались со средней точностью не хуже 0,1°, а положения осей — с точностью ~1 м.

Таблица 1. Сравнение аппроксимации фронта и поперечного распределения между 30 и 60 события для черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1 ПэВ на высоте 4250 м над уровнем моря

Час тица	Собы тия	фронт- P ₀	Фронт P ₁	фронт-P ₂	П\р-P ₀	П\р-P ₁	П\р-P ₂	П\р-P ₃
P	30	0,02916	0,000496	-2,522e-07	6,76e+06	0,2138	-0,0004291	2,304e-05
He	30	0,02827	0,000464	-2,274e-07	5,25e+06	0,1923	-0,0003836	1,785e-05
N	30	0,02727	0,000413	-1,729e-07	3,052e+0	0,1191	-0,0002049	9,111e-06
S	30	0,0278	0,000382	-1,482e-07	2,32e+06	0,0972	-8,408e-05	6,483e-06
F	30	0,0277	0,000352	-1,165e-07	1,704e+0	0,0772	8,08e-05	4,556e-06
P	60	0,0294	0,000500	-2,542e-07	6,85e+06	0,2166	-0,0003891	2,387e-05
He	60	0,0284	0,000461	-2,214e-07	5,137e+0	0,1892	-0,0003565	1,754e-05
N	60	0,02744	0,000412	-1,735e-07	3,086e+0	0,1216	-0,0002126	9,21e-06
S	60	0,02766	0,000382	-1,467e-07	2,307e+0	0,0969	-0,0001027	6,445e-06
F	60	0,02765	0,000356	-1,203e-07	1,745e+0	0,0774	-6,638e-05	4,648e-06

На рисунке 3 приведены аппроксимации среднего фронта ($\tau(R)$) и флуктуаций ($\delta\tau(R)$) фронта черенковского света ШАЛ от первичного ядра p и N с энергий 1 ПэВ и 10 ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря.

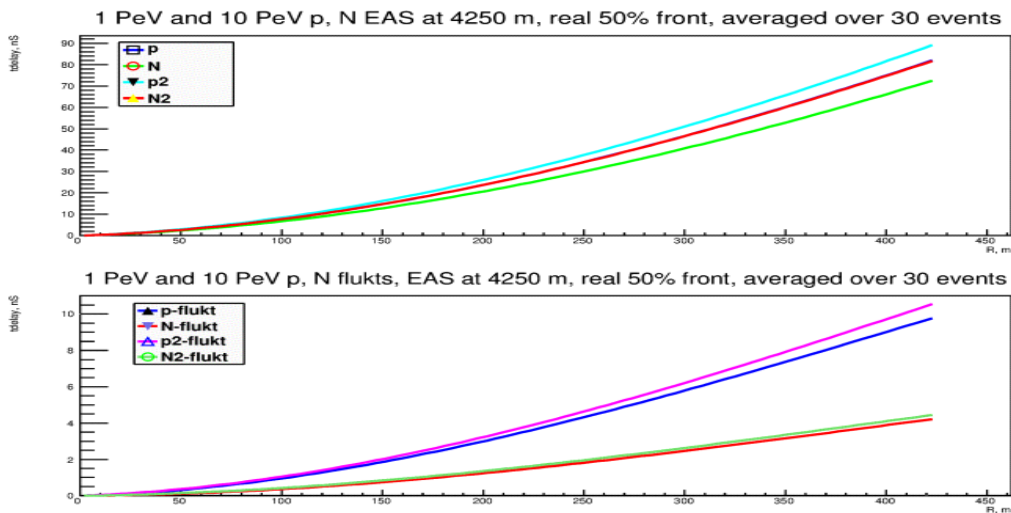


Рисунок 3. Сравнение аппроксимации среднего фронта ($\tau(R)$) и флуктуаций ($\delta\tau(R)$) фронта черенковского света ШАЛ для первичного ядра p и N с энергий 1 ПэВ и 10 ПэВ на высоте 4250 м над уровнем моря

На рисунке 4 приведены аппроксимации среднего поперечного распределения ($Q(R)$) и флуктуаций поперечного распределения ($\delta Q(R)$) черенковского света ШАЛ от первичного ядра He с энергий 1 ПэВ и 10 ПэВ на высоте 4250 м над уровнем моря.

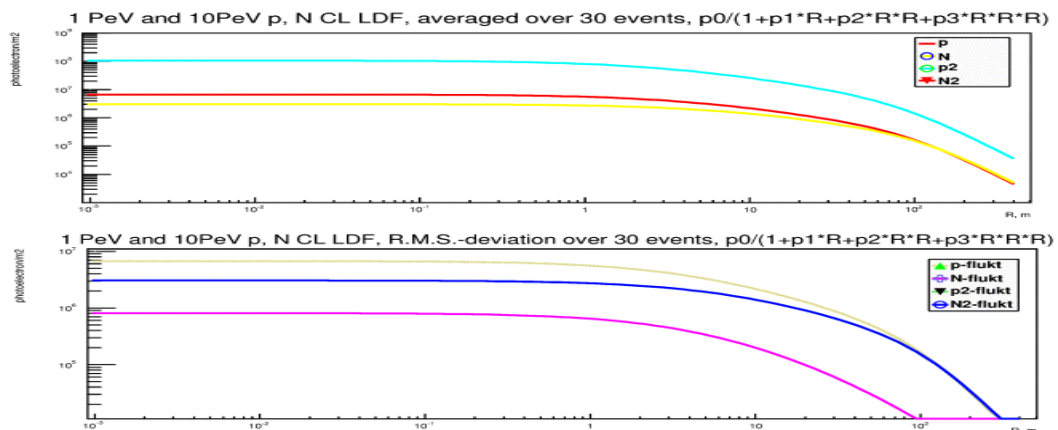


Рисунок 4. Сравнение аппроксимации среднего поперечного распределения ($Q(R)$) и флуктуаций поперечного распределения ($\delta Q(R)$) черенковского света ШАЛ для первичного ядра p и N с энергий 1 ПэВ и 10 ПэВ на высоте 4250 м над уровнем моря

Обработка пространственно-временных данных по ЧС и частицам требует выбора моделей поперечного распределения (ПР) и временного фронта (ВФ) и их флуктуаций.

На рисунках 5-а, б, показаны распределения ошибок положения и направления оси без учёта фона ночного неба.

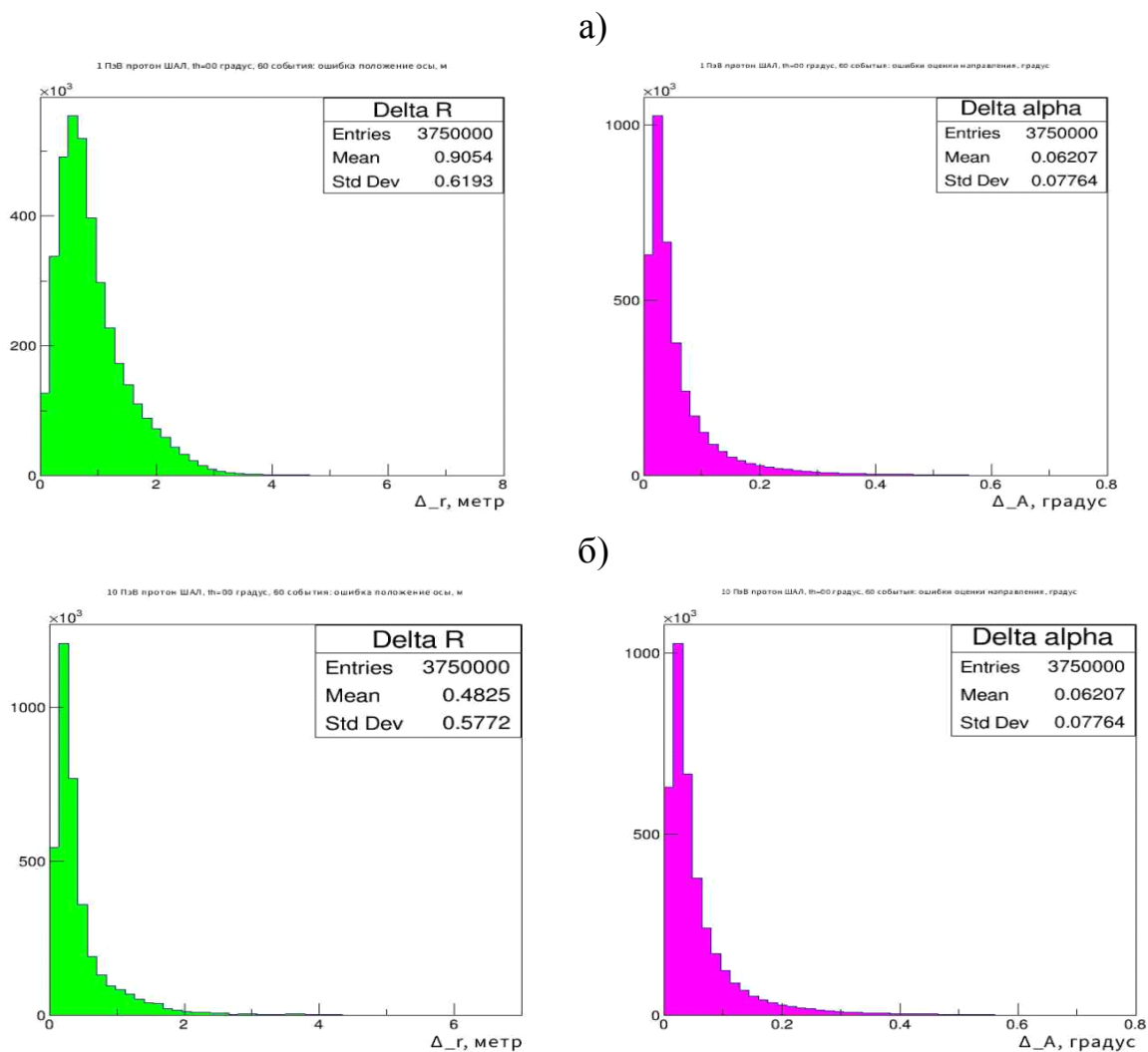


Рисунок 5. а) 1ПэВ, б) 10ПэВ. Для всех случаев ошибки оценки направления ШАЛ от протонов без учёта фона ночного неба для вертикальных ливней на высоте 4250м над уровнем моря, ($\theta=0^\circ$). (левая – положение оси, правая - направление прихода)

По показаниям сработавших быстрых оптических детекторов оцениваются: положение и направление оси ливня. Данные таблицы 2 позволяют утверждать, что оценки направление ливня и положения его оси в результате аппроксимации ВФ и ПР для индивидуальных событий в диапазоне энергий 1-100 ПэВ и в диапазоне зенитных углов $0-30^\circ$ могут быть сделаны с требуемыми точностями ~ 1 м и $<0.1^\circ$. Полученные оценки не учитывают влияния детекторов и обслуживающей их электроники. Они представляют собой ориентиры, к которым надо стремиться при создании детекторов установки.

Таблица 2. Оценка ошибки определения положения оси и направления прихода ШАЛ для вертикальных и наклонных ливней

E ₀	Ядро	Ошибки положения оси	Ошибки направления,
		R, m. Вертикальные ливни.	a, °. Вертикальные ливни.
1-ПэВ	p	0.9848	0.09093
	N	0.4904	0.06094
	Fe	0.6632	0.06995
10-ПэВ	p	0.6064	0.08052
	N	0.268	0.04213
	Fe	0.3473	0.04049
100-ПэВ	p	0.7906	0.1042
	N	0.3646	0.05867
	Fe	0.4116	0.05741
E ₀	Ядро	Ошибки положения оси	Ошибки направления,
		R, m. Наклонные ливни -30 градусов.	a, °. Наклонные ливни -30 градусов.
1-ПэВ	p	1.607	0.1021
	N	1.71	0.1146
	Fe	1.863	0.1361
10-ПэВ	p	0.712	0.05906
	Fe	1.547	0.08443

В четвертой главе получена оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью высокогорной установки. Проскочившие ливни. Выделения проскочивших протонных ливней и оценка энергии таких ливней. Общая процедура оценки энергии ШАЛ по характеристикам ЧС.

Ливни от протонов флуктуируют сильно в продольном развитии. При рассмотрении ШАЛ от протонов попадаются ливни, максимумы, которые их каскадных кривых находятся где-то близко к уровню наблюдения, и полное число черенковских фотонов на уровне наблюдения в них заметно меньше, чем в остальных ливнях: ливень просто не успевает родить обычное для ливня такой энергии количество света. Это мешает правильной оценке первичной энергии первичных частиц и их идентификации. Задача состоит в выделении проскочивших протонных ливней на основании непосредственно измеряемых величин и корректировке оценки энергии таких ливней.

Таблица 3. Плотность фотонов на разных расстоянии для определение первичных параметров

События	Плотность фотонов на расстоянии 10 м	Плотность фотонов на расстоянии 100 м	Отношение плотностей фотонов на расстоянии 10 м и
p-1	1937421.50	120152.000	16.1247540
p-2	2312464.00	138691.000	16.6734962
p-3	2098656.50	127217.000	16.4966679
p-4	2095727.250	141734.250	14.7863131
p-5	1798434.25	110299.000	16.3050823
p-6	2108581.75	34149.5000	61.7456131
p-7	1975839.50	92829.0000	14.2847233
p-8	2135353.75	72183.0000	99.5825024
p-9	2905301.25	70072.2500	27.8180981
p-10	1997983.25	121904.000	16.3898087

Как видно на рис.6, шестое (проскочившее) событие отличается от первого (нормального) ливня крутизной ФПР, интеграл от ФПР протонного события №6 оказывается примерно вдвое меньше среднего интеграла CL300 в нормальных ливнях.

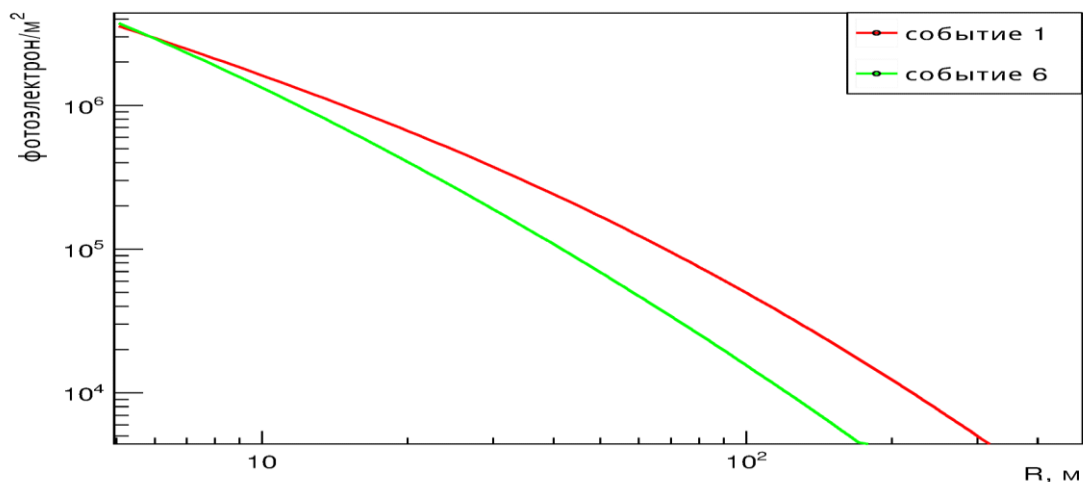


Рисунок 6. Аппроксимации поперечного распределения ЧС ШАЛ от первичного протона с энергией 1 ПэВ для нормального (1-го события, красная кривая) и проскочившего ливня (6-го события, зелёная кривая)

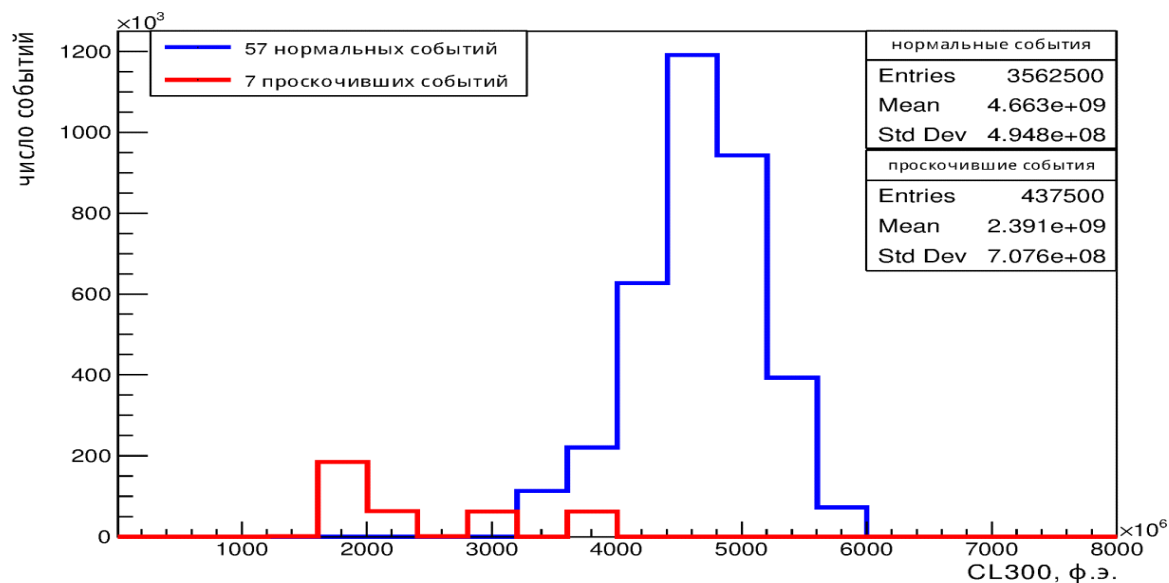


Рисунок 7. Оценка энергии ШАЛ от первичного протона 1 ПэВ до введения поправки, с учетом фона звездного неба. Из 64 событий 57 развиваются нормально, 7 развиваются глубоко в атмосфере

За счёт проскочивших ливней распределение оценок первичной энергии оказывается слишком широким (рис.б), что приводит к слишком большой неопределённости этих оценок.

Плотная сетка быстрых оптических детекторов позволяет нам не только идентифицировать проскочившие ливни, но и скорректировать их CL300, тем самым понизив неопределённость оценки E_0 для протонных ШАЛ.

Глубокое развитие ШАЛ меняет форму ФПР ЧС: она становится более узкой, спадает быстрее с ростом расстояния от оси, а её нормировка уменьшается (Рис.6). При наличии достаточно плотной сетки оптических детекторов эти изменения можно анализировать количественно.

Мы рассмотрели распределения крутизны ФПР ЧС в протонных ливнях с энергиями 1, 10 и 100 ПэВ. В качестве мер крутизны были испробованы отношения $q = LDF(R_1)/LDF(R_2)$ аппроксимаций индивидуальных ФПР ЧС на расстояниях $R_1 = 5, 10, 15, 20$ м и $R_2 = 100, 150, 200$ м от оси ливня. В качестве основной меры была выбрана $q = LDF(20 \text{ м})/LDF(100 \text{ м})$, демонстрирующая приемлемое пересечение распределений крутизны для нормальных и проскочивших ливней (Рис.8).

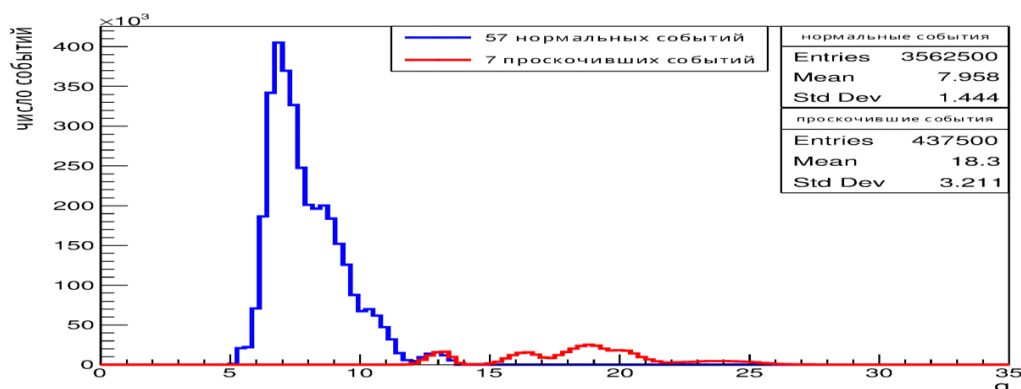


Рисунок 8. Распределения крутизны $q = LDF(20 \text{ м})/LDF(100 \text{ м})$ для протонных ливней с энергией 1 ПэВ. Синяя гистограмма – нормально развивающиеся ливни, красная – проскочившие

Поправка к интегралу CL300 вводится умножением его на коэффициент $co(q)$, большой единицы. Поскольку распределения крутизны нормальных и проскочивших ливней пересекаются, а поправлять CL300 нормально развивающихся ливней смысла нет, коэффициент должен отличаться от единицы, начиная с некоторого порогового значения крутизны q_{thr} :

$$co(q) = 1, \quad \text{если } q \leq q_{thr},$$

$$1 + a \cdot (q - q_{thr}), \quad \text{если } q > q_{thr}. \quad (1)$$

Линейный рост коэффициента $co(q)$ был выбран для простоты реализации и оказался приемлемым. Порог введения поправки и коэффициент роста a выбирались отдельно для каждой первичной энергии из условий примерного совпадения средних значений распределений CL300 для нормальных и проскочивших ливней и минимума ширины суммарного распределения. На рис.9 показаны результаты работы поправки для первичной энергии 1 ПэВ. Найденные параметры q_{thr} и a для трёх первичных энергий приведены в таблице 4.

Таблица 4. таблица параметров поправочного коэффициента

$$co(q) = 1 + a*(q - qthr)$$

Энергия E ₀ , ПэВ	a – коэффициент роста	qthr – порог по крутизне
1	0.24	13
10	0.24	13
100	0.29	17

Таблица 5: Относительные флуктуации CL300 для E₀ ≥ 1 ПэВ, % с учётом фона звездного неба

Энергия E ₀ -ПэВ Протон	Оценка ошибки энергии до поправки в %.	Оценка ошибки энергии после поправки в %
1	14.1	10.8
10	26.9	11.5
100	21.7	12.4

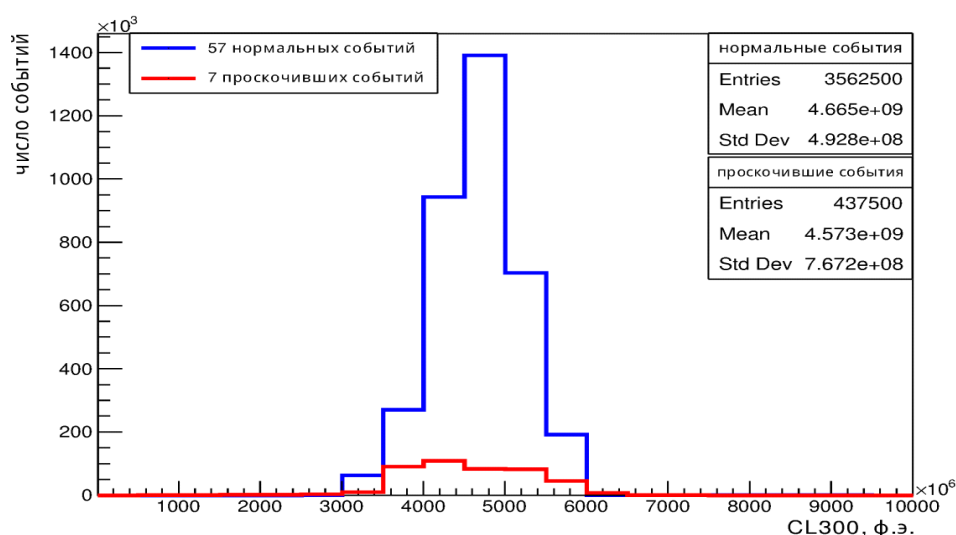


Рисунок 9. Оценка энергии ШАЛ от первичного протона 1 ПэВ с введением поправки, с учетом фона звездного неба. Из 64 событий 57 развиваются нормально, 7 развиваются глубоко в атмосфере

Введение поправок к CL300 позволяет заметно уменьшить неопределённость оценок первичной энергии (Таблица 5). Правда, эти результаты получены на трёх выборках с фиксированными энергиями, тогда

как в реальном эксперименте мы эти энергии должны определить. Параметры поправок в Таблице 5 даны в зависимости от E_0 , причём они немного меняются только при энергиях выше 10 ПэВ.

Продемонстрированная возможность использовать параметр крутизны ФПР для уточнения оценки E_0 не может считаться полноценной, поскольку в реальном эксперименте ливни будут иметь произвольную (в диапазоне чувствительности установки) энергию и массу первичной частицы. Следовательно, нам необходимо представить логически замкнутую процедуру оценки энергии, опирающуюся на значения $CL300$, q , координаты оси ливня и данные о принадлежности события к одному из трёх рассматриваемых классов по массе (p , N , Fe), то есть на все данные, возникающие в результате анализа пространственно-временного и пространственно-углового распределений ЧС ШАЛ.

Построение процедуры начнём с анализа зависимостей $CL300(q; E_0, A)$ для диапазонов E_0 : 1-100 ПэВ и A : 1-56. На рис.9 показаны регрессии $CL300(q)$, полученные в результате обработки корреляционных плотов $CL300$ - q для первичных протонов с энергиями 1, 10 и 100 ПэВ, ядер азота и железа с энергией 10 ПэВ. Области определения и значений этих функций соответствуют диапазонам изменения q и $CL300$ в соответствующих выборках с учётом всех конфигураций, удовлетворяющих триггерным условиям.

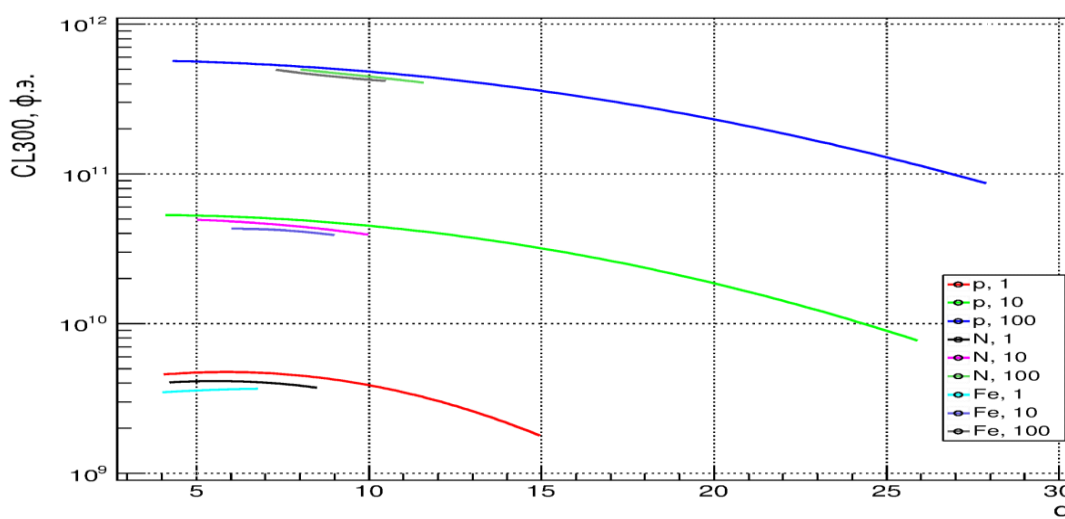


Рисунок 10. Зависимости $CL300(q; E_0, A)$ для первичных протонов, ядер азота и железа с энергиями 1, 10 и 100 ПэВ

Бросается в глаза существенное отличие областей определения $CL300(q)$ для протонов и ядер N и Fe : большие флуктуации в ливнях от протонов обуславливают широкие диапазоны крутизны, причём самые большие крутизны соответствуют ливням, развивающимся глубоко (проскочившим ливням). Количество света, приходящее на уровень наблюдения в круг радиуса 300 м в таких ливнях существенно меньше, чем в обычных ливнях. Небольшие продольные и поперечные флуктуации ШАЛ от

ядер позволяют при их обработке пренебречь зависимостями $CL300(q)$ и непосредственно связывать $CL300$ и E_0 : $E_0 = E_0(CL300, A)$. Эти зависимости мало отличаются при разных A , но полная процедура всё-таки должна учитывать их различия. Иными словами, минимальную неопределённость может гарантировать только самосогласованная процедура, учитывающая все доступные данные о событии и оценивающая одновременно все первичные параметры. Мы описываем здесь несколько упрощённую процедуру, считая процесс оценки направления слабо зависящим от энергии и массы первичной частицы в указанных диапазонах, что примерно соответствует действительности [3-4].

Приведённые на рис.32 зависимости имеют функциональный вид:

$$CL300(q, \varepsilon) = \exp[\alpha(\varepsilon) + \beta(\varepsilon) \cdot (q + \gamma(\varepsilon))^2] \quad (2)$$

где $\varepsilon = \ln(E_0/1 \text{ ПэВ})$.

Итак, процедура оценки первичной энергии и массы выглядит следующим образом:

1. По показаниям сработавших быстрых оптических детекторов оцениваются: $CL300$, положение и направление оси ливня, q .
2. Если q больше или равно 12, первичной частицей считается протон (у других ядер таких крутизн практически не бывает), и остаётся только оценить E_0 . Для этого равенство (1) преобразуется к виду

$$\ln(CL300_{\text{изм}}) = \alpha(\varepsilon) + \beta(\varepsilon) \cdot (q + \gamma(\varepsilon))^2 \quad (3)$$

и рассматривается как уравнение относительно ε . При этом для получения зависимостей $\alpha(\varepsilon)$, $\beta(\varepsilon)$, $\gamma(\varepsilon)$ используется Лагранжева интерполяция по трём узлам: $\varepsilon = 0, 2, 3, 4, 6$, для которых существуют расчётные данные.

3. Если q меньше 12, сначала производится грубая оценка энергии по $E_0 = E_0(CL300)$ для любого ядра, например, для ядра азота, поскольку оценки эти отличаются не более чем на 15%, а полученный нами в [5-8] критерий оценки массы не зависит от первичной энергии в рассматриваемом диапазоне.

В диапазоне 1-100 ПэВ связь $E_0(CL300)$, применяемая при небольших q , была аппроксимирована функцией

$$E_0(CL300) = 10^{p_0} \cdot CL300^{p_1}, \quad (4)$$

где параметры p_0 и p_1 имели следующие значения:

- для протонов: $p_0 = -9,94 \pm 0,40$, $p_1 = 1,028 \pm 0,038$,
 для ядер азота: $p_0 = -9,50 \pm 0,22$, $p_1 = 0,987 \pm 0,021$,
 для ядер железа: $p_0 = -9,23 \pm 0,14$, $p_1 = 0,964 \pm 0,013$.

После определения наиболее вероятного класса i по первичной массе энергия должна быть уточнена по соответствующему соотношению $E_0 = E_0(CL300, A_i)$. Если событие отнесено к классу протонов, уточнение энергии надо проводить так, как это описано в пункте 2.

Рассматривалась также систематическая ошибка оценки E_0 по приведённой процедуре, обусловленная различием моделей сильного взаимодействия при

сверхвысоких энергиях QGSJET01 и QGSJET-II-04. Для $E_0=1$ ПэВ она не превышает 8%, для $E_0=10$ ПэВ – 10%.

Таблица 6. Неопределённости энергии первичной частицы, для ядер p, N, Fe

Первичные ядра	E_0 , ПэВ	Ошибка оценки E_0 , %, CORSIKA/QGSJET01	Ошибка оценки E_0 , %, CORSIKA/QGSJET-II-04
p	1	14.1	20
	10	26.9	10
	100	21.7	
N	1	5.8	6.3
	10	6.2	8.9
	100	8.7	
Fe	1	5.1	4.5
	10	3.0	5.6
	100	4.3	

В заключении диссертации изложены основные результаты и выводы проделанной работы:

Основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. Выбранные нами моделирования хорошо описывают аппроксимирующую функцию для фронта и функции поперечного распределения от различных ядер в диапазон энергии 1-100 ПэВ. [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А].
2. Решение обратной задачи для протонных ливней показало, что точность полученных аппроксимаций достаточна для определения направления ливня с неопределенностью $\sim 0,1$ град и точки падения оси с неопределенностью ~ 1 м. [3-А, 4-А, 5-А, 7-А].
3. Модели фронта и поперечного распределения света, а также их флуктуаций успешно описывают имеющиеся выборки искусственных событий. Средние функции и флуктуации, полученные на выборках объемом 60 событий, практически не отличаются от аналогичных функций для выборок объемом 30 событий. [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А].
4. Предлагаемая оптическая часть «Памир-XXI» позволяет достичь требуемых точностей определения направление и положения оси ливня для различных ядер в диапазон энергии 1-100 ПэВ. [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А].
5. Построена процедура оценки первичной энергии ливня от произвольного ядра, включающая алгоритм оценки первичной массы. Среднеквадратичная ошибка оценки E_0 в диапазоне 1-100 ПэВ не превосходит 15%,

систематическая ошибка за счёт неопределённости модели взаимодействия в диапазоне 1-10 ПэВ не более 10%. [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 6-А, 7-А, 8-А].

6. Проверка нашей процедуры оценки E_0 на выборке протонов 30 ПэВ подтверждает заявленную точность оценок (не хуже 15%). [1-А, 2-А, 3-А, 6-А, 8-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Результаты данного исследования могут быть полезны при планировании, проектировании и создании высокогорных установок по изучению космических лучей высоких и сверхвысоких энергий. Созданный банк искусственных событий можно использовать в процессе учебы и проведения НИР среди студентов и аспирантов высших учебных заведений.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

[1-А]. **Латинова, С.З.** Аппроксимация фронта и поперечного распределения черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря / **С.З. Латинова** // Вестник ТНУ. - 2013. - № 2.- С. 165-169.

[2-А]. **Латинова, С. З.** Метод определения параметров первичной частицы широкого атмосферного ливня высокогорной установкой / В. И. Галкин, А. С. Борисов, Р. Бахромзод, В. В. Батраев, **С. З. Латинова**, А. Р. Мукумов // Вестник Московского Университета. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ.- 2018. -№2. - С.56-62.

[3-А]. **Латинова, С. З.** Поперечное распределение черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1 ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря / **С.З.Латинова**, В.И., Галкин, Г.П. Шозиёев // Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. -2017. - Т. 1. - № 3. -С. 69-75.

[4-А]. **Латинова, С. З.** Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью высокогорной установк. / **С. З. Латинова**, В. И. Галкин // Учёные записки физического факультета Московского Университета. - 2020. - № 3. - С. 265-271.

[5-А]. **Латинова, С. З.** Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью установки ПАМИР-XXI / **С. З. Латинова**, В. И. Галкин // Республиканский научно-практическая конференция посвящённой «Двадцатилетию изучения развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования) на тему «Современные проблемы физики конденсированное состояние и ядерная физика» - ТНУ, Душанбе - 2020. - № 3. - С. 205-207.

[6-А]. **Латинова, С. З.** Процедура определения положения и направления оси ШАЛ сетью быстрых оптических детекторов ПАМИР-XXI / В. И. Галкин, **С. З. Латинова** // Вестник ТНУ-серия естественных наук. 2022.- №3. - С-224-238.

[7- А]. Galkin, V.I. EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array/ V.I. Galkin, A.S. Borisov. R. Bakhromzod, V.V. Batraev, **S. Latipova**, and A. Muqumov // EPJ Web of Conferences 145, 15004 (2017) DOI: 10.1051/epjconf/201714515004/ EPJ Web Conf. /Volume 145, 2017.

[8-A]. Латипова С. З. Extensiv air shower energy estimate by optical part of Pamir-XXI detector array /Республиканский научно-практическая конференция посвященной «Двадцатилетию изучения развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. ТНУ, Душанбе - 2020.- С.4.

Список использованных источников

- [1]. Borisov, A.S. Design of a Cherenkov telescope for the measurement of PCR composition above 1 PeV / A.S. Borisov and V.I. Galkin // J. Phys.: Conf. Ser. - 2013. - №.1. - С. 409. -p.012089.
- [2]. Galkin, V. I., EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array. / V. I. Galkin, A. S. Borisov, R. Bakhromzod, V. V. Batraev, S.Z. Latipova, A.R. Muqumov//EPJ Web of Conferences. - 2017. -145. - 15004.
- [3]. Галкин В.И., Борисов А. С., Бахромзод Р., Батраев В.В., Латипова С. З., Мукумов А.Р. / Метод определения параметров первичной частицы широкого атмосферного ливня высокогорной установкой / В.И. Галкин, А. С. Борисов, Р. Бахромзод, В.В. Батраев, С. З. Латипова, А.Р. Мукумов / Вестн. Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия. -2018. -№2. - С. 56-62.
- [4]. Topchiev, N.P. Designing of a comprehensive high altitude EAS array for primary particle determination within the PAMIR-XXI project / N.P. Topchiev, A.S. Borisov, V.V. Batraev, R. Bakhromzod, V.I. Galkin, A.R. Muqumov. //ICRC. - 2017. -Vol. 301.- p. 475.
- [5]. Galkin, V. I. EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array / V. I. Galkin, A. S. Borisov, R. Bakhromzod, V. V. Batraev, S.Z. Latipova, A.R. Muqumov // EPJ Web of Conferences. - 2017. -Рр. 145.
- [6]. Бахромзод, Р. Поиск оптимальных критериев для выделения широких атмосферных ливней от γ -квантов / Р.Бахромзод, В.И. Галкин // Ученые записки физического факультета Моск. Ун-т.- 2018. -Т. 3. - № 3. - С. 183-203. https://www.researchgate.net/publication/331530533_Poisk_optimalnyh_kriteriev_dla_vydelenia_sirokih_atmosfernyh_livnej_ot_g-kvantov
- [7]. Латипова, С. З. / Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью высокогорной установок /Латипова С. З., Галкин В. И. //Учёные записки физического факультета Московского Университета. -2020. - № 3. -С. 265-271
- [8]. Полухина, Н.Г. Исследования актуальных проблем ядерной физики на основе методики полностью автоматизированной обработки трековых детекторов на многофункциональной установке ПАВИКОМ/ Полухина, Наталья Геннадьевна //дис.д.физ.-мат. наук. - М. – 2006. – 101 с.

ДОНИШГОҶИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

Бо ҳуқуқи дастнавис



УДК: 524.1 (575.3)

Латипова Сарвиноз Зикуллоевна

АРЗЁБИИ ЭНЕРГИЯ ВА САМТИ ЗАРРАҶОИ ИБТИДОӢ АЗ РӢӢИ ТАСВИРИ СЕЛИ ВАСЕИ АТМОСФЕРӢ ДАР ДЕТЕКТОРҶОИ ОПТИКИИ ТАҶРИБАИ ПОМИР-XXI

01.04.01 – Дастгоҳдо ва усулҳои физикаи таҷрибавӣ

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
номзади илмҳои физикаю математика

Душанбе - 2023

Кори дисертатсионӣ дар кафедраи физикаи ҳастаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, дар ҳамҷоягӣ бо ИИТФҲ-и ба номи Д.В. Скобелтсини ДДМ ба номи М.В. Ломоносов иҷро гардидааст.

Роҳбари илмӣ:	Галкин Владимир Игоревич, доктори илмҳои физикаю математика, дотсент, профессори кафедраи физикаи кайҳони факултети физикаи ДДМ ба номи М.В. Ломоносов
Муқарризони расмӣ:	
Муассисаи пешбар:	

Ҳимояи диссертатсия «_25_» _январӣ соли 2024 дар соати 14⁰⁰ дар чаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-055 назди Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (суроға: 734064, ш. Душанбе, кӯч. Айнӣ, 299/1) баргузор мегардад.

Бо диссертатсия дар китобхонаи Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва сомонаи www.phti.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «_25_» __декабри_ соли 2023 тақсим гардид.

Котиби илмии
Шӯрои диссертатсионии муштаракӣ 6D.KOA-055,
д.и.м.ф., профессор **Д.М.Ақдодов**

САРСУХАН

Муҳиммияти мавзӯ. Яке аз масъалаҳои муҳими астрофизика масъалаи пайдоиши нурҳои кайҳонии баландэнергия мебошад. Масъалаҳои муайян кардани бузургиҳои зарраҳои ибтидоӣ, аз қабалии энергияи аввалия, навъи зарраҳо, масса, самти воридшавӣ ва ҳолати тир, масъалаҳои бунёдии физика ва астрофизикаи зарраҳои фавкулэнергия мебошанд. Маҳз донишмандони ин бузургиҳо барои аксар масъалаҳои астрофизикие, ки бо усули СВА ҳал карда мешаванд, муҳим аст. Инҳо масъалаҳои классикии муайян кардани тайфи (спектр) энергия, таркиби массавӣ ва шояд омӯхтани анизотропия барои ҳодисаҳои ҳуди энергетикӣ мебошанд.

Вазифаи мушаххаси қор аз ҳалли масъалаи бузургиҳои ибтидоӣ, ҳал кардани яке аз масъалаҳои классикии физикаи нурҳои кайҳонӣ, яъне ба даст овардани тайфи энергия ва муайян намудани самти ибтидоии нурҳои ибтидоии кайҳонӣ (НИК) фавкулэнергия, ки аз нуқтаи назари астрофизикаи зарраҳои фавкулэнергия аҳамияти калон дорад, иборат мебошад.

Дараҷаи омӯзиши қори илмии мазкур шарҳи мухтасар ва таҳлили умумии қомеъҳои илмии соҳаи физикаи нурҳои кайҳониро, ки то ҳол ин масъалаҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон қорқард нашудаанд, нишон медиҳад. Асоси тадқиқоти мо қорҳои илмии муаллифоне мебошад, ки дар ин соҳа қор қардаанд, инҳо қорҳои илмии Галкин В.И., Буднев Н.М., Астапов И.И., Семба Х., Осава А, Подгрудков Д.А., Деденко Л., Роганова Т.М., Федорова Г.Ф. ва дигарон.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо), мавзӯҳои илмӣ. Мавзӯи таҳқиқоти диссертатсионӣ асосан бо Самтҳои афзалиятноки таҳқиқоти имӣ ва (ё) илмию техникӣ мувофиқ буда, дар доираи лоиҳаи «Помир-XXI» анҷом шудааст. Таҳқиқот барои амалисозии Нақшаи чорабиниҳо барои солҳои 2020–2025 барои амалисозии эълони гардидани солҳои 2020–2040 «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», ки бо Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳти рақами №427 аз 30 июли 2020 тасдиқ шудааст

ТАВСИФОТИ УМУМИИ ҚОР

Мақсади тадқиқоти диссертатсионӣ: мақсади қор аз муайян кардани бузургиҳои ибтидоии нурҳои кайҳонии фавкулэнергия иборат мебошад.

Барои ноил гардидан ба ҳадафҳои гузошташуда вазифаҳои зеринро ҳал намудан зарур аст:

- Сохтани алгоритми арзёбии самти ибтидоӣ барои амсилаҳои ҳисоббарории тақсимоти фронтӣ ва паҳншавии арзии рӯшноии черенковии СВА аз ҳастаҳои ибтидоии муҳатлиф.
- Арзёбии энергетикӣ тайфи афканишоти ибтидоии кайҳонӣ (АИК) дар энергияи зиёда аз 10^{15} эВ (1 ПэВ).

- Муайян кардани дақиқии арзёбии самти омадан ва ҳолати меҳвари зарраи ибтидоӣ (бо хатогии на бештар аз 0,1 градуси камон ва 1,5 м) бо энергияи 1-100 ПеВ.

- Бунёди дастгоҳе, ки метавонад масъалаи тайфи энергетикӣи НИК-ро дар диапазони энергияҳои 10^{15} - 10^{18} эВ бо истифода аз хусусиятҳои рӯшноии черенковии СВА ҳал намояд.

Объектҳои тадқиқот омӯзиши АИК дар соҳаи фавкулэнергияҳо ($E_0 > 10^{15}$ эВ) мебошанд. Омӯзиши ҷанбаҳои астрофизикӣи тавсифоти НИК, инчунин маънидод кардани хусусиятҳои мутақобилаи адронӣ хангоми фавкулэнергия мебошанд.

Мавзӯи тадқиқот технологияи нави ҷенкунии рӯшноии черенковии СВА бо истифода аз маҷмӯи як қатор телескопҳои оптикӣ бо оинаҳои масоҳаташ 2-4 м², андозаи майдони биниш на камтар аз 20° ва пикселҳои диаметри 0,5-0,8°, қобилияти фарқ кардани селҳое, ки аз ҷониби ҳастаҳои гуногуни ибтидоӣ сар мешаванд, инчунин шабакаи детекторҳои оптикӣи васеъкунҷ (40 - 50°) бо андозаи сӯроҳии ~ 30 м, ки самти СВА-ро бо дақиқияти баланди ($\sim 0,1^\circ$) муайян карда метавонанд, ҳамчунин ҳолати меҳвари сел ва энергияи зарраҳои ибтидоӣ; навъи нави калориметри марказӣ дар якҷоягӣ бо камераи эмулсионӣ, ки адронҳои баландэнергияро дар танаи сел меомӯзад ва маълумотро аз қабатҳои синтилляторӣ ҳамчун нишонаи ҳадафи муайн барои ҷустуҷӯи самараноки ҳодисаҳои дар қабатҳои эмулсияҳои рентгенӣ истифода мебарад, мебошад.

Мақсади кори диссертатсионӣ иборат аст, аз:

- Вазифа аз он иборат аст, ки маҷмӯи детекторҳои черенковие сохта шаванд, ки барои ҳалли масъалаи арзёбии масса/навъи зарраҳои ибтидоӣ оптимизатсия карда шудаанд.

- Варианти пешниҳодшудаи қисми оптикӣи дастгоҳ импулсҳои (тақсимоти фазой-вақтӣ) рӯшноии черенковӣ ва тасвирҳои кунҷии черенковиро (тақсимоти фазой-кунҷии рӯшноии черенковӣ) таҳлил мекунад ва барои ин шабакаи васеи детекторҳои оптикӣи зудкор ва якҷанд телескопҳои васеъкунҷро дар бар мегирад.

- Қисми оптикӣи дастгоҳ хусусиятҳои фазой-вақтӣ ва фазой-кунҷии рӯшноии черенковиро барои ҳисоб кардани хусусиятҳои зарраҳои ибтидоӣ истифода мебарад ва аз ин рӯ, бояд ду маҷмӯи детекторҳоро барои ҳалли мушкилот дар бораи тайфи энергетикӣ ва таркиби массаӣ дар бар гирад:

а) тӯри росткунҷаи 11×11 детекторҳои зудкори васеъкунҷ бо масоҳати $\sim 1,0$ м² ва диафрагмаи ~ 1 см, ки дар фосилаи 25 м ҷойгиранд, имкон медиҳад, ки самти омадани селро бо дақиқияти на камтар аз $0,1^\circ$ муайян кунад, ҳолати меҳвар бо дақиқияти ~ 1 м ва энергия бо дақиқияти тақрибан 15% ва таҳлили шакли импулси черенковӣ муайян карда шавад;

б) телескопҳои оптикӣ бо оинаҳои масоҳати ~ 4 м², майдони биниш бо диаметри тақрибан 30° ва диаметри пиксел $\sim 0,8^\circ$, ки аз ҳамдигар дар масофаи 100-150 м ҷойгиранд, имкон медиҳанд, дар наздикии меҳвар

таксимоти фазой-кунҷии рӯшноии черенковӣ, ки ба массаи зарраи ибтидоӣ ҳассос аст, таҳлил карда шавад ва усули аз рӯи масса ҷудо кардани ҳастаҳо аслан ба дақиқ муайян кардани самти зарраи ибтидоӣ таъя мекунад.

Усулҳои тадқиқот. Як қисми усулҳои СВА усули оптикӣ рӯшноии черенковӣ (РЧ) мебошад. Бақайдгирии РЧ барои омӯзиши СВА беш аз панҷоҳ сол истифода мешавад. Сабабҳои зиёде мавҷуданд, ки РЧ-и СВА-ро нисбат ба дигар ҷузъҳои СВА, аз ҷумла электронҳо, позитронҳо, мюонҳо, адронҳо, радиоафканишҳо ва рӯшноии флуоресентӣ бештар иттилоотӣ меҳисобанд. Тадричан рушди техникаи ҳисоббарорӣ имкон дод, ки ҳисобкунии ҳосиятҳои СВА бо усули Монте-Карло амалӣ карда шавад ва ин имкон медиҳад, ки флукуатсияи тавсифоти ҷенкуниҳо ба таври миқдорӣ таҳлил карда шавад.

Соҳаи тадқиқот омӯзиши ҳодисаҳо ва равандҳои физикӣ мебошад, ки барои сохтани дастгоҳу усулҳои принсипан нави физикаи таҷрибавӣ, таҳияи усулҳои коркарди математикии натиҷаҳои таҷрибавӣ истифода бурдан мумкин аст. Амсиласозии ҳодисаҳо ва равандҳои физикӣ, маҳз 01.04.01 – Дастигоҳҳо ва усулҳои физикаи таҷрибавӣ.

Марҳилаҳои тадқиқот – банақшагири, амсиласозӣ, таҳияи ҳодисаҳои сунъӣ ва истифодаи онҳо, муайян кардани воситаҳо барои муайян намудани тавсифоти хусусиятҳои ибтидоии СВА, ба даст овардани натиҷаҳо ва ҳулосаҳо.

Маҳзани асосии иттилоотӣ ва таҷрибавӣ.

Маҳзани иттилоотии кори диссертатсионӣ корҳои илмӣ мебошанд: китобҳои дарсӣ, маҷаллаҳои даврии илмӣ, маводи конференсияҳои илмӣ, диссертатсияҳо ва монографияҳо бахшида ба омӯзиши хусусиятҳои АИК ва амсилаи таъсири мутақобилаи адронҳо мебошанд.

Ҳангоми иҷрои кори диссертатсионӣ маҳзани таҷрибавии ҳодисаҳои сунъӣ аз CERN истифода шуданд.

Эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсия. Бар хилофи дигар дастгоҳҳо таҷрибаи Помир-XXI дар як вақт бақайдгирии се ҷузъи асосии СВА-ро таъмин менамояд. Натиҷаҳои амсиласозии маълумотҳо бо натиҷаҳои, ки дар дигар дастгоҳҳои шабех ба даст оварда шудаанд, муқоиса ва инчунин, таълифотҳо дар ин мавзӯ низ анҷом дода шуданд.

Навгониҳои илмӣ кор, ки бори аввал ба даст оварда шуданд, иборатанд аз:

- Барои таҷрибаи Помир-XXI наздикшавии фронт ва паҳншавии арзии рӯшноии черенковӣ селҳои васеи атмосферӣ аз ҳастаҳои гуногун бо энергияи 1-100 ПеВ гузаронида шуд. Шакли функсияҳои наздикшавӣ барои фронт ва ФТФ аз РЧ СВА интиҳоб карда шуданд.

- Алгоритми наздикшавӣ ва таҳлили иштибоҳот барои арзёбии энергияи аввалия, ҳолати меҳвар, самти омадан ва амсилаҳои ҳисоббарории fronti черенковӣ ва паҳншавии арзии рӯшноии черенковӣ СВА аз ҳастаҳои гуногуни ибтидоӣ таҳия карда шуданд.

- Раванди арзёбии самти омадани СВА ва ҳолати меҳвари зарраҳои ибтидоӣ гузаронида шуд.

- Иштибоҳоти арзёбии самти СВА барои селҳои амудӣ ва моил аз рӯи тақсимои фазой-вақтии рӯшноии черенковӣ (РЧ) муайян карда мешаванд.

- Тартиби арзёбии самти омадани СВА ва ҳолати меҳвари зарраҳои ибтидоӣ таҳия гардида, хурдтагронӣ гузаронида шуд.

- Тартиби арзёбии энергияи СВА аз интегралҳои РЧ коркард карда шуд ва ба арзёбии энергия барои селҳои қад-қади нишебии ФТФ РЧ ислоҳҳо ворид карда шуданд.

Аҳамияти назариявии кор:

- Дар доираи лоиҳаи Помир-XXI дар асоси равишҳои нав ба таври назаррас пеш бурдани ҳалли ҳарду масъалаҳои классикӣ, ки пеш аз дастгоҳҳои СВА (ва масъалаҳои амсилаи баҳамтаъсирот) гузошта шудаанд, пешбинӣ карда мешавад.

- Кори мазкур ба тадқиқи адронҳо дар танайи СВА дахл надорад. Он имкони ҳалли масъалаҳои анъанавии астрофизикиро дида мебарояд: омӯзиши тайфи энергетикӣ ва таркиби массавии АИК ва бақайдгирии γ -квантҳои фавкулэнергия ҳам аз манбаъҳои нуқтавӣ ва ҳам аз манъҳои диффузионӣ. Мантиқи мо барои ҳалли ин масъала аз мантиқи дар таҷрибаҳои гузашта ва ҳозира истифодашуда то андозае фарқ мекунад.

- Вазифа аз он иборат аст, ки маҷмӯи детекторҳои черенковӣ барои ҳалли масъалаи арзёбии масса/навъи зарраҳои ибтидоӣ оптимизатсия карда шудаанд.

- Варианти пешниҳодшудаи қисми оптикӣ дастгоҳ импулсҳои РЧ (тақсимои фазой-вақтӣ) ва тасвирҳои кунҷии черенковиро (тақсимои фазой-кунҷии РЧ) таҳлил мекунад ва барои ин шабакаи васеи детекторҳои оптикӣ зудкор ва якчанд телескопҳои васеъкунҷро дарбар мегирад.

Аҳамияти амалии кор. Вазифаи мушаххаси кор аз он иборат аст, ки дастгоҳ барои ба қайд гирифтани селҳои васеи атмосферӣ (СВА), ки яке аз масъалаҳои классикии физикаи нурҳои кайҳониро ҳал кард метавонад ва маҳз барои гирифтани тайфи энергетикӣ ва таркиби массавии нурҳои ибтидоии кайҳонии (НКИ) фавкулэнергия, ки аз нуқтаи назари астрофизикаи зарраҳои фавкулэнергия хеле муҳиманд.

Нуқтаҳои ҷимояшавандаи диссертатсия:

Хулосаҳои асосии илмӣ таҳия карда шудаанд.

- Наздикшавии фронт ва тақсимои арзии рӯшноии черенковии селҳои васеи атмосферӣ аз ҳастаҳои мухталиф бо энергияи 1 ва 100 ПэВ; Интиҳоби функсияҳои наздикшавандагӣ;
- Таҳияи алгоритми арзёбии самти ибтидоӣ ва амсилаҳои ҳисоббарорӣ барои fronti черенковӣ ва тақсимои арзии рӯшноии черенковии СВА аз ҳастаҳои гуногуни ибтидоӣ;
- Арзёбии самти омадани зарраҳои ибтидоӣ ва ҳолати меҳвари СВА бо истифода аз қисми оптикӣ таҷрибаи Помир-XXI;
- Муайян намудани иштибоҳоти арзёбии самти СВА барои селҳои амудӣ ва моили аз рӯи конфигуратсияҳои виброники;
- Тартиби арзёбии энергияи СВА аз рӯи интегралҳои РЧ;

Ислоҳҳо ба арзёбии энергия барои селҳои афтанда қад-қади ФТФ-и РЧ.

Саҳми шахсии муаллиф аз ҷустуҷӯӣ ва таҳлили маълумоти адабиётҳо оид ба мавзуи интиҳобшуда, омода намудани ҳисобҳои намунавӣ ва амсиласозӣ, коркарди натиҷаҳои бадастоварда, муҳокимаи онҳо ва омода кардани маводҳо барои интишорот иборат мебошад.

Таъйиди диссертатсия ва иттилоот доир ба истифодаи натиҷаҳои он.

Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар конфронсҳои ҷумҳуриявӣ, умумироссиягӣ ва байналмиллалии зерин маъруза шудаанд: Мактаби байналмиллалии «Микроолам ва макроолам», солҳои 2012 ва 2013 дар Москва; Семинари 3-юми байналмиллалии нурҳои кайҳонӣ ICRW-2013; Мактаби (16-уми Курчатов) байнисоҳавии илмии ҷавонон дар соли 2016, Конференсияи байналмиллалии «Cambridge Central Asia Forum» дар доираи лоиҳаи GCRF COMPASS 23-25.04.2018 дар Остона, Қазоқистон; Мактаби байналмиллалии олимони ҷавони давлатҳои ИДМ дар мавзуи «Масоили баҳамназдики физика ва астрофизикаи зарраҳои фавкулэнергия» соли 2014 дар Душанбе; Мактаби байналмиллалии олимони ҷавони давлатҳои ИДМ, 24-30.09.2017 дар Алмато (Қазоқистон); Мактаби байналмиллалии олимони ҷавони давлатҳои ИДМ, соли 2018 дар Алмато (Қазоқистон); Мактаби байналмиллалии олимони ҷавони давлатҳои ИДМ, 17-22.09.2019 дар Исикқул (Қирғизистон); Конференсияи онлайнӣ дар мавзуи Маркази байналмиллалии илмӣ-тадқиқотии «Памир-Чақалтой», 27.02-10.03.2021; Конференсияи ҷумҳуриявӣ оид ба усулҳои физикӣ ҳаставии таҳлили таҳлили таркиби объектҳои биологӣ, геологӣ, химиявӣ ва тиббӣ дар соли 2014 дар Душанбе; Конференсияҳои солони ҷумҳуриявии илмии ҳайати профессорону унстодон аз соли 2012 то соли 2022.

Натиҷаҳои нашршудаи таҳқиқот. Аз рӯи маводи кори диссертатсионӣ 8 кор нашр шудааст, ки аз он 2 мақола дар маҷаллаҳои илмии тақризшавандаи пойгоҳҳои Web of Science ва Scopus ва 4 мақола дар маҷаллаҳои илми тақризшавандаи ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба нашр расидаанд ва 2-тоаш дар маводи конференсияҳои ҷумҳуриявӣ байналмилалӣ мебошанд.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия

Кори диссертатсионӣ дар 104 саҳифаи чопи компютерӣ пешниҳод шуда, аз 6 ҷадвал, 29 расм ва аз муқаддима, 4 боб, хулосаҳои асосӣ, номгӯии осори муаллиф, феҳристи адабиёти истинодшуда аз маҷаллаҳои машҳури унвонӣ иборат мебошад.

Калидвожаҳо: сели васеи атмосферӣ, рӯшноии черенковӣ, детекторҳои оптикӣ зудкор, қисми оптикӣ дастгоҳ, самти омадан, ҳолатҳои меҳвар (СВА), вақти омадан, фотоэлектронҳо, амсиласозии оморӣ, арзёбии энергия, сели афтанда.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Кор аз муқаддима, чор боб, хулоса ва рӯйхати адабиётҳои истифодагардида иборат мебошад.

Дар **сарсухан** муҳимият, мақсади кор, нағониҳо, аҳамияти назариявӣ ва амалӣ, муқаррароти ба ҳимоя пешниҳодшаванда, тасвиби кор, интишорот асоснок карда шудаанд.

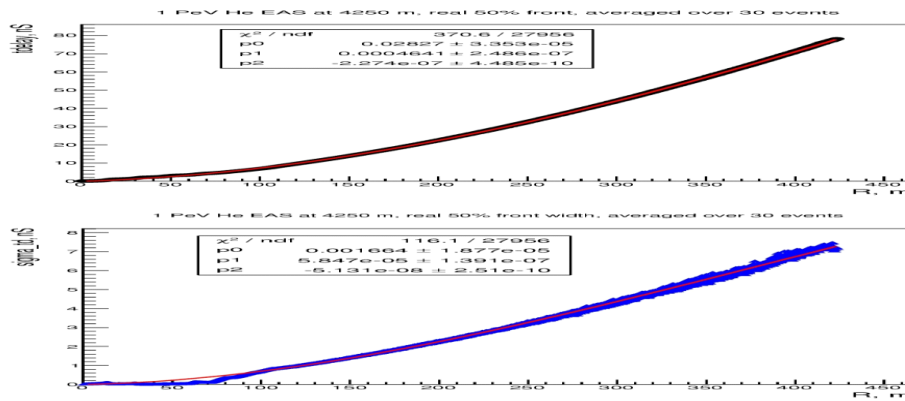
Баррасии таҷрибаҳо ва натиҷаҳои асосӣ оид ба нурҳои кайҳонии баландэнергия оварда шудаанд. Бузургҳои ибтидоӣ, усулҳои тадқиқи онҳо ва дастгоҳҳои черенковӣ, ки чузъҳои СВА-ро меомӯзанд, тавсиф дода шудаанд. Намунаҳои арзёбии бузургҳои ибтидоӣ бо усулҳо ва дастгоҳҳои мухталиф оварда шудаанд.

Дар **боби якум** маълумоти адабиётҳо оид ба масъалаҳои классикии физикаи кайҳонӣ, тайфи энергетикӣ ва таркиби массавии АИК таҳлил карда шудаанд. Дар соҳаҳои фавкулэнергия ($E_0 > 10^{15}$ эВ), энергия ва нағии зарраҳои ибтидоӣ аз рӯйи хусусиятҳои СВА нишон дода шудаанд. Табиати манбаи нурҳои кайҳонии галактикӣ (НК) энергияҳои баланд ва фавкулэнергия мебошанд. Тайфи энергетикӣ НК дар Замин, ҳангоми энергияи ҳамгашт (колени) $3 \cdot 10^{15}$ эВ будан, мушоҳида мешавад. Тайфи энергетикӣ ва таркиби массавии НК бо энергияи аз 10^{15} эВ баландтар тавассути бақайдгирии СВА тадқиқ карда шуданд.

Дар **боби дуюм** тавсифи умумии дасгоҳи насли нави Помир-XXI дар асоси ду равиши асли оварда шудааст: технологияи нави ченкунии рӯшноии черенковии СВА бо истифода аз маҷмӯи як қатор телескопҳои оптикӣ бо оинаҳои масоҳаташ 2-4 м², андозаи майдони биниш на камтар аз 20° ва пикселҳои диаметри 0,5-0,8°, қобилияти фарқ кардани селҳое, ки аз ҷониби ҳастаҳои гуногуни ибтидоӣ сар мешаванд, инчунин шабакаи детекторҳои оптикӣ васеъкунҷ (40-50°) бо андозаи сӯроҳии ~ 30 м, ки самти СВА-ро бо дақиқияти баланди ($\sim 0,1^\circ$) муайян карда метавонанд, ҳамчунин ҳолати меҳвари сел ва энергияи зарраҳои ибтидоӣ; нағии нави калориметри марказӣ дар якҷоягӣ бо камераи эмулсионӣ, ки адронҳои баландэнергияро дар танаи сел меомӯзад ва маълумотро аз қабатҳои синтиляторӣ ҳамчун нишонҳои ҳадафи муайн барои ҷустуҷӯи самаранокӣ ҳодисаҳои дар қабатҳои эмулсияҳои рентгенӣ истифода мебарад.

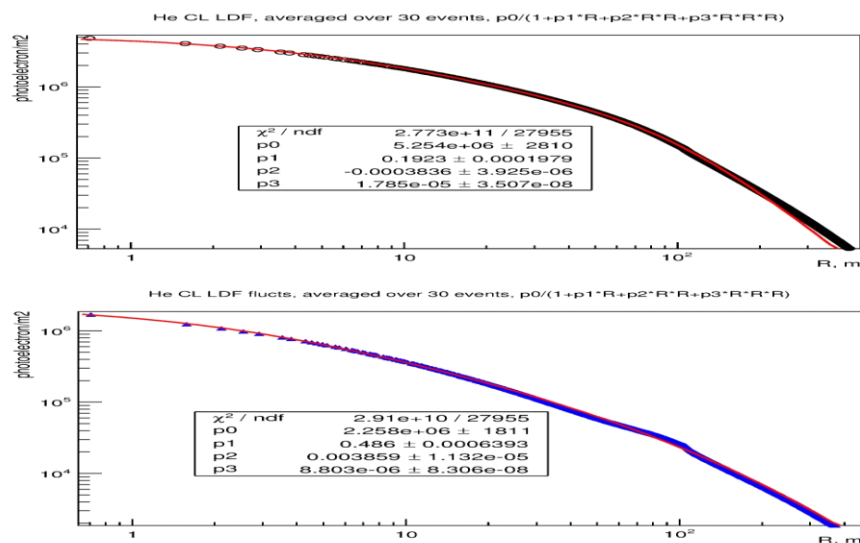
Дар **боби сеюм** интиҳоби функсияҳои тақсимои фронтӣ ва фазой-кунҷии (ТФК) РЧ СВА барои муайян кардани бузургҳои ибтидоӣ нишон дода шудааст. Иштибоҳоти самти ибтидоӣ ва ҳолати меҳвар барои РЧ СВА аз ҳастаҳои мухталиф дар диапазони энергетикӣ 1-100 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр муайян карда шуданд. Тартиби мукаммали муайян кардани ҳолат ва самти меҳвари СВА тавассути сети детекторҳои оптикӣ зудкори Помир-XXI нишон дода шудааст.

Дар расми 1 наздикшавии fronti миёна ($\tau(R)$) ва флукуатсияи ($\delta\tau(R)$) fronti рӯшноии черенковии СВА аз ҳастаҳои ибтидоии He бо энергияи 1 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр нишон дода шудааст.



Расми 1. Наздикшавии (хатҳои сурх)-и фронти миёна ва флукуатсияи фронти рӯшноии СВА аз ҳастаи ибтидоии He бо энергияи 1 ПэВ ва маълумоти ҳисобшуда (секунҷаҳои сиёҳ ва кабуд). Функцияҳои наздикшавандагӣ: $F(R)=P0 \cdot R + P1 \cdot R^2 + P2 \cdot R^3$

Дар расми 2 наздикшавии тақсимои арзии миёна ($Q(R)$) ва флукуатсияи тақсимои арзии ($\delta Q(R)$) рӯшноии черенковии СВА аз ҳастаи ибтидоии He бо энергияи 1 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи нишон дода шудааст.



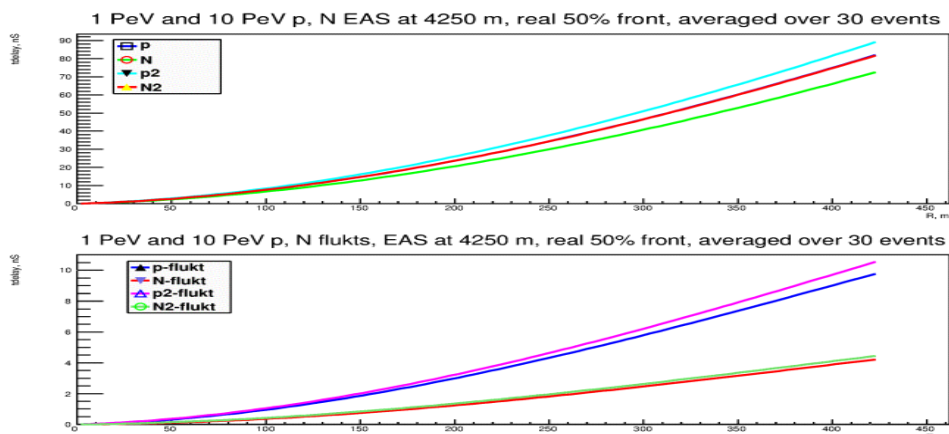
Расми 2. Наздикшавиҳои (хатҳои сурх) тақсимои миёнаи арзии ва флукуатсияи тақсимои арзии рӯшноии черенковии СВА аз ҳастаи ибтидоии He бо энергияи 1 ПэВ ва маълумоти ҳисобшуда (давҷаҳои сиёҳ ва секунҷаҳои кабуд)

Наздикшавиҳои $Q(R)$, $\delta Q(R)$, $\tau(R)$, $\delta \tau(R)$ барои селҳои протонӣ, барои сохтани тартиби муайян намудани ҳолати меҳвар ва самти омадани селҳои протонӣ бо қиёмҳои (зенитҳои) мухталиф ($0-30^\circ$) ва кунҷҳои азимутӣ ($0-360^\circ$) истифода карда шуданд [1-5]. Самти селҳо бо дақиқияти миёна на камтар аз $0,1^\circ$ ва ҳолати меҳварҳо бо саҳеҳии ~ 1 м барқарор карда шуданд.

Ҷадвали 1. Муқоисаи наздикшавиҳои фронт ва тақсимои арзии байни ҳодисаҳои 30 ва 60 барои рӯшноии черенковии селҳои васеи атмосферӣ аз ҳастаҳои гуногун бо энергияи 1 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр

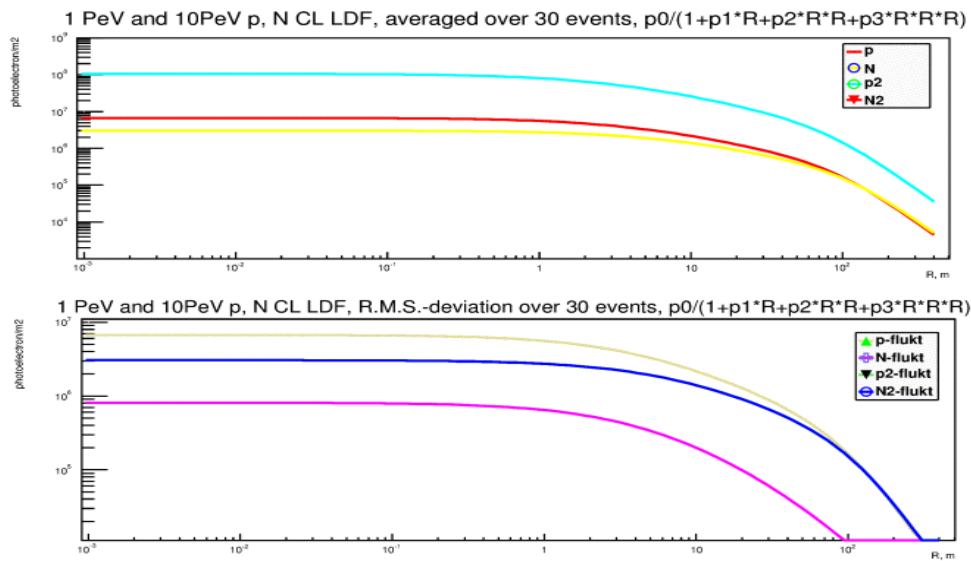
Зарра	Ҳодиса	Фронти P ₀	Фронти P ₁	Фронти P ₂	П\р-P ₀	П\р-P ₁	П\р-P ₂	П\р-P ₃
P	30	0,02916	0,000496	-2,522e-07	6,76e+06	0,2138	-0,0004291	2,304e-05
He	30	0,02827	0,000464	-2,274e-07	5,25e+06	0,1923	-0,0003836	1,785e-05
N	30	0,02727	0,000413	-1,729e-07	3,052e+0	0,1191	-0,0002049	9,111e-06
S	30	0,0278	0,000382	-1,482e-07	2,32e+06	0,0972	-8,408e-05	6,483e-06
F	30	0,0277	0,000352	-1,165e-07	1,704e+0	0,0772	8,08e-05	4,556e-06
P	60	0,0294	0,000500	-2,542e-07	6,85e+06	0,2166	-0,0003891	2,387e-05
He	60	0,0284	0,000461	-2,214e-07	5,137e+0	0,1892	-0,0003565	1,754e-05
N	60	0,02744	0,000412	-1,735e-07	3,086e+0	0,1216	-0,0002126	9,21e-06
S	60	0,02766	0,000382	-1,467e-07	2,307e+0	0,0969	-0,0001027	6,445e-06
F	60	0,02765	0,000356	-1,203e-07	1,745e+0	0,0774	-6,638e-05	4,648e-06

Дар расми 3 наздикшавиҳои фронт миёна ($\tau(R)$) ва флукуатсияи фронт ($\delta\tau(R)$) рӯшноии черенковӣ СВА аз ҳастаҳои ибтидоии p ва N бо энергияҳои 1 ПэВ ва 10 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр нишон дода шудааст.



Расми 3. Муқоисаи наздикшавиҳои миёнаи фронт ($\tau(R)$) ва флукуатсияи фронт ($\delta\tau(R)$) рӯшноии черенковӣ СВА барои ҳастаҳои ибтидоии p ва N бо энергияҳои 1 ПэВ ва 10 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр

Дар расми 4 наздикшавиҳои тақсимои миёнаи арзии ($Q(R)$) ва флукуатсияи тақсимои арзии ($\delta Q(R)$) рӯшноии черенковӣ СВА аз ҳастаи ибтидоии He бо энергияҳои 1 ПэВ ва 10 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр нишон дода шудааст.

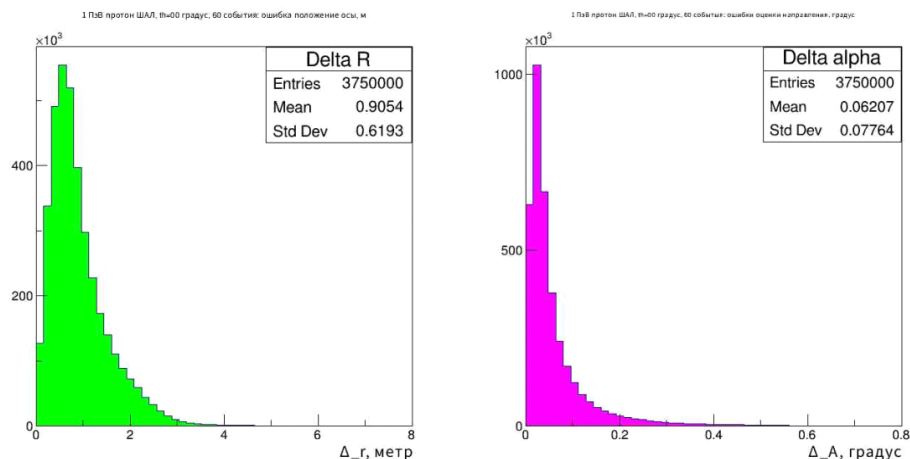


Расми 4. Муқоисаи наздикшавиҳои тақсимои миёнаи арзӣ ($Q(R)$,) ва флукуатсияи тақсимои арзӣ ($\delta Q(R)$) рӯшноии черенковии СВА барои ҳастаҳои ибтидоии p ва N бо энергияҳои 1ПэВ ва 10 ПэВ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр

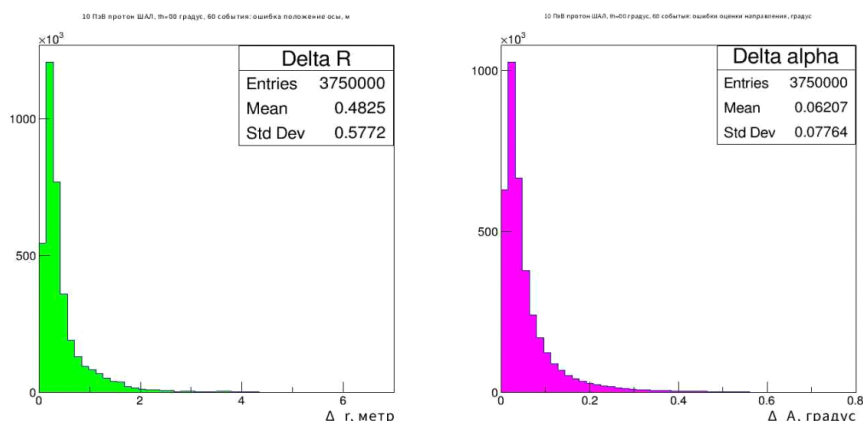
Коркарди маълумотҳои фазой-вақтӣ дар бораи РЧ ва зарраҳои интихоби амсилахоро барои тақсимои арзӣ (ТА) ва fronti вақтӣ ва флукуатсияҳои онҳоро талаб мекунад.

Дар расмҳои 5-а, б тақсимои ҳатогихои ҳолат ва самти меҳвар бе назардошти манзараи осмони шабона ва дар расмҳои 16-а,б,в бо назардошти манзараи осмони шабона барои селҳои амудӣ аз протонҳои нишон дода шудаанд. Тақсимоҳои шабеҳ барои селҳои протонӣ, ки аз рӯйи самтҳо дар ҳудуди конуси амудӣ бо кунҷи нимаи 30° изотопӣ тақсим шудаанд, бе ҳисоби манзараи осмони шабона дар расми 17-а,б нишон дода шудааст.

а)



б)



Расми 5. а) 1ПэВ, б) 10ПэВ. Барои ҳамаи ҳодисаҳои иштибоҳи арзёбии самти СВА аз протонҳо бе назардошти манзараи осмони шаб барои селҳои амудӣ дар баландии 4250 м аз сатҳи баҳр ($\theta = 0^\circ$), (чап – ҳолати меҳвар, рост - самти омадан)

Ҷадвали 2. Арзёбии ҳатогии муайян кардани ҳолати меҳвар ва самти омадани СВА барои селҳои амудӣ ва моил

E_0	Ҳаста	Ҳатогии ҳолати меҳвар R, m. Селҳои амудӣ.	Ҳатогии самт, $a, ^\circ$. Селҳои амудӣ.
1-ПэВ	p	0.9848	0.09093
	N	0.4904	0.06094
	Fe	0.6632	0.06995
10-ПэВ	p	0.6064	0.08052
	N	0.268	0.04213
	Fe	0.3473	0.04049
100-ПэВ	p	0.7906	0.1042
	N	0.3646	0.05867
	Fe	0.4116	0.05741
E_0	Ҳаста	Ҳатогии ҳолати меҳвар R, m. Тамоюли селҳо – 30 дараҷа.	Ҳатогии сатҳ, $a, ^\circ$. Тамоюли селҳо – 30 дараҷа.
1-ПэВ	p	1.607	0.1021
	N	1.71	0.1146
	Fe	1.863	0.1361
10-ПэВ	p	0.712	0.05906
	Fe	1.547	0.08443

Аз рӯи нишонаҳои детекторҳои оптикӣ зудкор, инҳо баҳо дода мешаванд: ҳолат ва самти меҳвари сел.

Маълумотҳои қадвали 2 имкон медиҳанд, ки арзёбии самти селҳо ва ҳолати меҳвари он дар натиҷаи наздикшавии ФТ ва ТА барои ҳодисаҳои алоҳида дар диапазони энергетияҳои 1-100 ПэВ ва дар диапазони кунҷи зенитии 0-30° метавонад бо дақиқияти зарурии ~1 м ва <0,1 бунёд намояд. Ҳисобҳои бадастовардашуда таъсири детекторҳо ва таъминоти электронии онҳоро назар намегиранд. Онҳо ҳангоми сохтани детекторҳои дастгоҳ бояд нишон додани самти худ кӯшиш намоян.

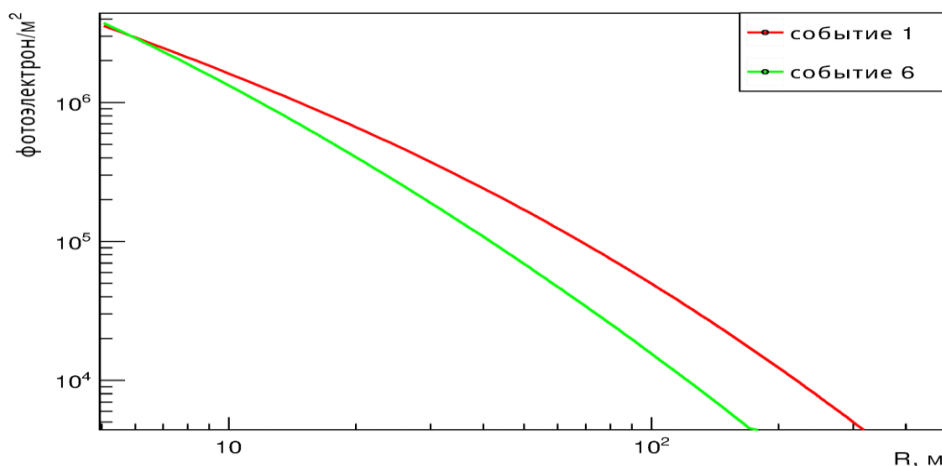
Дар боби чорум баҳодиҳии энергияи селҳои васеи атмосферӣ қисми оптикӣ таҷрибаҳои баландкӯҳ нишон дода шудаанд. Инчунин ҷудо намудани селҳои протонӣ афтанда ва арзёбии энергияи чунин селҳо ва тартиби умумии арзёбии энергияи СВА аз рӯи хусусиятҳои РЧ оварда шудаанд.

Сели протонҳо дар рушди дарозмуддат хеле тағйир меебад. Ҳангоми баррасии СВА аз ҳадди аксар протонҳо, ки қачқои каскадии онҳо дар ҷое ба сатҳи мушоҳида наздик аст ва шумораи пурраи фотони черенковӣ дар сатҳи мушоҳида дар онҳо назар ба дигар селҳо ба таври назаррас камтар аст: сели протонҳо танҳо вақти тавлиди миқдори маъмулии сел чунин энергияро надорад. Ин ба арзёбии дурусти энергияи ибтидоии зарраҳои ибтидоӣ ва муайян кардани онҳо ҳалал мерасонад. Вазифа аз ҷудо кардани селҳои протонӣ дар асоси бузургӣҳои бевосита ченшаванда ва ислоҳи арзёбии энергияи чунин боронҳо иборат аст.

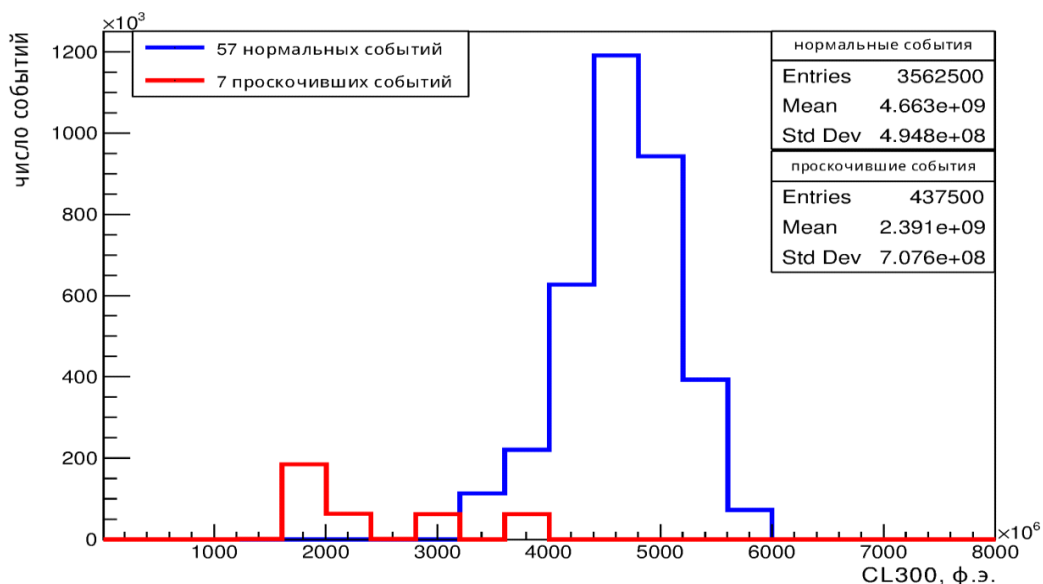
Қадвали 3. Зичии фотонҳо дар масофаҳои гуногун, барои муайян намудани параметрҳои ибтидоӣ

Ҳодисаҳо	Зичии фотонҳо дар масофаи 10 м	Зичии фотонҳо дар масофаи 100 м	Таносуби зичии фотонҳо дар масофаҳои 10 м ва 100 м
p-1	1937421.50	120152.000	16.1247540
p-3	2098656.50	127217.000	16.4966679
p-4	2095727.250	141734.250	14.7863131
p-5	1798434.25	110299.000	16.3050823
p-6	2108581.75	34149.5000	61.7456131
p-7	1975839.50	92829.0000	14.2847233
p-8	2135353.75	72183.0000	99.5825024
p-9	2905301.25	70072.2500	27.8180981
p-10	1997983.25	121904.000	16.3898087

Тавре дар расми 6 дида мешавад, ҳодисаи шашум (афтанда) аз сели якум (муқаррарӣ) бо нишебии ФТФ фарқ мекунад, интегралҳои ФТФ-и ҳодисаи протонӣ №6 дар селҳои муқаррарӣ қариб нисфи интегралҳои миёнаи CL300-ро ташкил медиҳад.



Расми 6. Наздикшавии тақсимоти арзии РЧ СВА аз протони ибтидоӣ бо энергияи 1 ПэВ барои ҳолати муқаррарӣ (ҳодисаи 1-ум, хати қачи сурх) ва сели афтанда (ҳодисаи 6-ум, хати қачи сабз)



Расми 7. Арзёбии энергияи СВА аз протони ибтидоии 1 ПэВ бо ворид намудани ислоҳот, бо назардошти манзари осмони ситоразор. Аз 64 ҳодиса 57-тои он ба таври муътадил ташаккул меёбад, 7-тоаш дар қабри атмосфера инкишоф меёбад

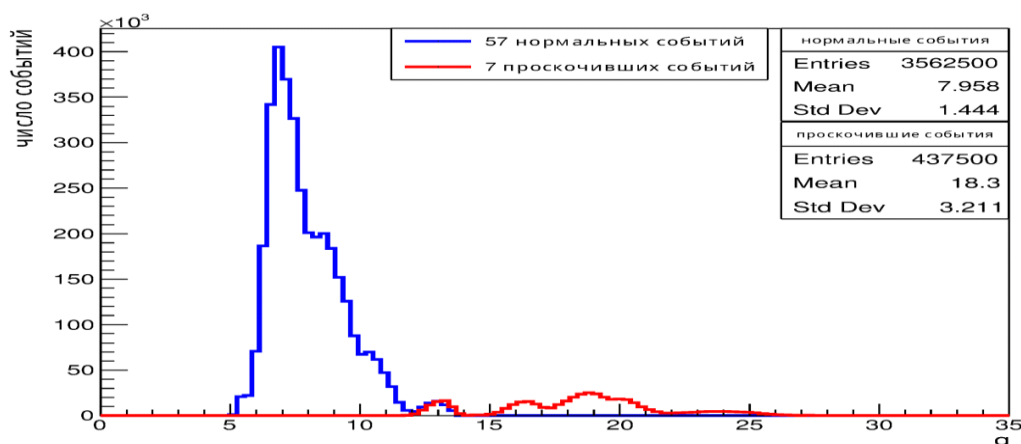
Аз ҳисоби селҳои аз ҳад зиёд, тақсимоти арзёбиҳои ибтидоии энергия хеле васеъ мегардад (расми 6), ки боиси номуайянии аз ҳад зиёди ин баҳодихиҳо мегардад.

Шабакҳои зичии детекторҳои оптикӣ зуд ба мо имкон медиҳад, ки на танҳо сели афтандаро баробар кунем, балки онҳоро бо CL300 ислоҳ намоем, ва ба ин васила номуайянии арзёбии E_0 -ро барои СВА-ҳои протон коҳиш медиҳад.

Рушди амиқи СВА шакли ФТФ-и РЧ-ро тағйир медиҳад: он тангтар шуда, бо зиёд шудани масофа аз меҳвар тезтар коҳиш меёбад ва бақоидадорӣ он кам мешавад (расми 2). Ҳангоми мавҷу будани

шабакаи ба қадри кофӣ зичи детекторҳои оптикӣ ин тағйиротхоро метавон ба таври миқдорӣ таҳлил кард.

Мо тақсимои нишебии ФТФ-и РЧ-ро дар селҳои протонӣ бо энергияҳои 1, 10 ва 100 ПэВ баррасӣ намудем. Таносуби $q = LDF(R_1)/LDF(R_2)$ аз наздикшавиҳои алоҳидаи ФТФ-и РЧ дар масофаҳои $R_1 = 5, 10, 15, 20$ м ва $R_2 = 100, 150, 200$ м аз меҳвари сел ҳамчун ченакҳои нишебӣ истифода шуданд. Ифодаи $q = LDF(20 \text{ м})/LDF(100 \text{ м})$ ба сифати ченаки асосӣ интихоб карда шуд, ки росткунҷаи қобили қабули тақсимои нишебиро барои селҳои муқаррарӣ ва афтанда (расми 8) нишон медиҳад.

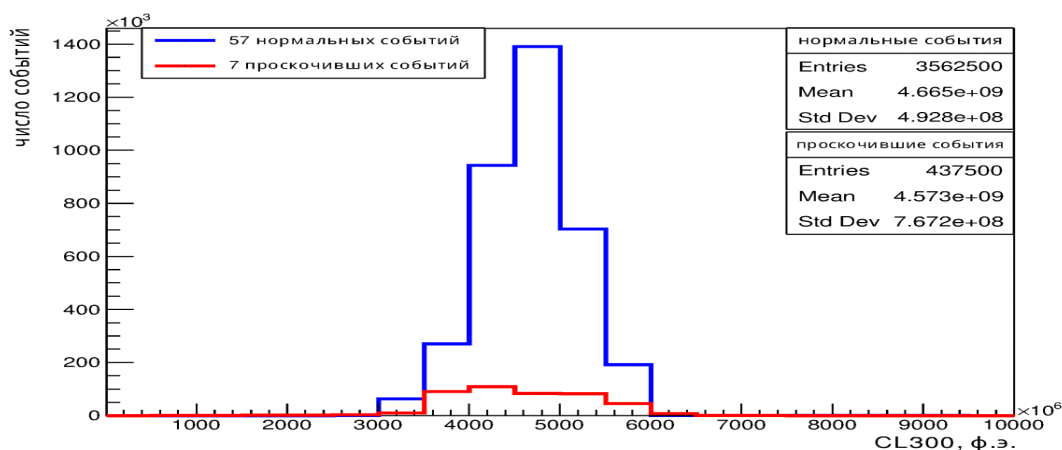


Расми 8. Тақсимои нишебӣ $q = LDF(20 \text{ м}) / LDF(100 \text{ м})$ барои сели протонҳо бо энергияи 1 ПэВ. Гистограммаи кабуд селҳои маъмулан инкишофёбанда, ранги сурх афтандаро нишон медиҳад

Ислоҳот ба интегралҳои CL300 бо роҳи зарб кардани он ба коэффисиенти $co(q)$ аз як воҳид бузургтар ворид карда мешавад. Азбаски тақсимои нишебии селҳои муқаррарӣ ва афтанда бо ҳам мепайвандад, ислоҳ намудани CL300 барои селҳои муқаррарӣ ҳеҷ маъно надорад, коэффисиенти бояд аз воҳид, сар карда аз қимати ҳадди нишебии q_{thr} фарқ кунад:

$$co(q) = 1, \quad \text{агар } q \leq q_{thr}, \\ 1 + a \cdot (q - q_{thr}), \quad \text{агар } q > q_{thr}. \quad (1)$$

Афзоиши хаттии коэффисиенти $co(q)$ барои осонии татбиқи интихоб карда шуд ва қобили қабул гардид. Саҳди ворид намудани ислоҳот ва коэффисиенти афзоиши a барои ҳар як энергияи ибтидоӣ аз шартҳои ба қиматҳои миёнаи тақсимои CL300 барои селҳои муқаррарӣ ва афтанда тақрибан мувофиқаткунанда ва паҳноии минималии тақсимои умумӣ интихоб карда шудааст. Дар расми 9 натиҷаи қорҳои ислоҳотӣ барои энергияи ибтидоии 1 ПэВ нишон дода шудааст. Бузургҳои дарёфтшудаи q_{thr} ва a барои се энергияи ибтидоӣ дар ҷадвали 4 нишон дода шудаанд.



Расми 9. Арзёбии энергияи СВА аз протони ибтидоии 1 ПэВ бо ворид намудани ислоҳот, бо назардошти манзари осмони ситоразор. Аз 64 ҳодиса 57-тои он ба таври муътадил ташаккул меёбанд, 7-тоаш дар қаъри атмосфера инкишоф меёбад

Ҷадвали 4. Ҷадвали бузургиҳои коэффитсиент ислоҳкунанда $co(q) = 1 + a*(q - qthr)$

Энергияи E_0 , ПэВ	a – коэффитиенти афзоиш	$qthr$ – садд барои нишебӣ
1	0.24	13
10	0.24	13
100	0.29	17

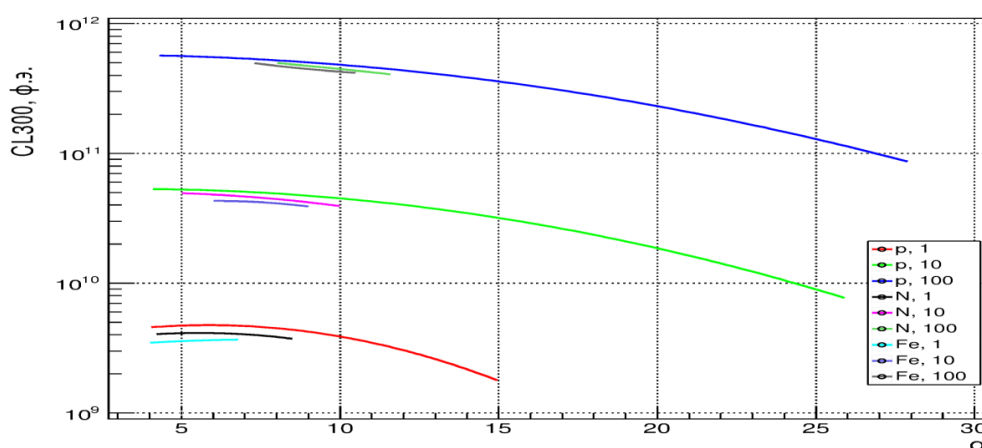
Ворид намуданаи ислоҳҳо ба CL300 метавонад номуайяниро дар арзёбиҳои энергияи ибтидоӣ ба таври назаррас коҳиш диҳад (ҷадвали 5). Дуруст аст, ки ин натиҷаҳо дар се намунаи энергияҳои қайдгардида ба даст оварда шудаанд, дар ҳоле дар таҷрибаи ҳақиқӣ мо бояд ин энергияҳоро муайян кунем. Бузургиҳои ислоҳӣ дар ҷадвали 5 вобаста ба E_0 оварда шудаанд ва онҳо танҳо хангоми энергияҳо аз 10 ПэВ баландтар каме тағйир меёбанд.

Ҷадвали 5. Флуктуатсияи нисбии CL300 барои $E_0 \geq 1$ ПэВ, % бо назардошти осмони ситоразор

Энергияи E_0 -ПэВ Протон	Арзёбии хатогии энергия то ислоҳ бо %	Арзёбии хатогии энергия пас ислоҳ бо %
1	14.1	10.8
10	26.9	11.5
100	21.7	12.4

Имконияти нишондодашудаи истифодаи бузургҳои нишебии ФТФ барои дақиқ кардани арзёбии E_0 пурра ҳисоб намудан мумкин нест, зеро дар таҷрибаи воқеӣ селҳо дорои энергияи озодона (дар диапазони хассосияти дастгоҳ) ва массаи зарраҳои ибтидоӣ мегарданд. Бинобар ин, барои мо зарур аст, ки тартиби аз ҷиҳати мантиқӣ пӯшида арзёбии энергияро дар асоси қиматҳои CL300, q , координатҳои меҳвари сел ва маълумотҳо оид ба он, оё ҳодиса ба яке аз се синфҳои аз рӯи массаи (p , N , Fe) баррасишаванда тааллуқ дорад, яъне дар бораи ҳамаи маълумоте, ки дар натиҷаи таҳлили тақсимои фазоӣ-вақтӣ ва фазоӣ-кунҷии РЧ СВА ба вуҷуд меоянд, пешниҳод намоем.

Барои ба сохтани тартиб таҳлили вобастагии CL300(q ; E_0 , A)-ро барои диапазони E_0 : 1-100 ПэВ ва A : 1-56. оғоз менамоем. Дар расми 10 пастравиҳои CL300(q) нишон дода шудаанд, ки дар натиҷаи коркарди коррелятсияҳои CL300- q барои протонҳои ибтидоӣ бо энергияҳои 1, 10 ва 100 ПэВ, ҳастаҳои нитроген ва оҳан бо энергияи 10 ПэВ ба даст оварда шудаанд. Соҳаҳои муайяни ва қимати ин функсияҳо ба диапазони q ва CL300 дар намунаҳои мувофиқ бо назардошти ҳамаи конфигуратсияҳо, ки шароити триггерро қонеъ мекунанд, мувофиқат мекунанд.



Расми 10. Вобастагии CL300(q ; E_0 , A) барои протонҳои ибтидоӣ, ҳастаҳои нитроген ва оҳан бо энергияи 10 и 100 ПэВ

Фарқи назарраси байни минтақаҳои муайяни CL300(q) барои протонҳо ва ядроҳои N ва Fe аҷиб аст: флукуатсияи калон дар селҳо аз протонҳо боиси диапазонҳои васеи нишебӣ мегардад ва ғайр аз ин, нишебиҳои калон ба селҳое, ки умқи инкишоф меёбанд (селҳои афтанда) мувофиқат мекунанд. Микдори рӯшноие, ки ба сатҳи мушоҳидаи доираи радиусаш 300 м мерасад, дар чунин селҳо назар ба селҳои муқаррарӣ хеле кам аст. Флукуатсияи хурди тӯлӣ ва арзии СВА аз ҳастаҳо имкон медиҳад, ки хангоми коркарди онҳо вобастагии CL300(q) сарфи назар карда шаванд ва ба CL300 ва E_0 мустақиман алоқаманд бошад: $E_0 = E_0(CL300, A)$. Ин вобастагӣ барои A -ҳои гуногун каме фарқ мекунанд, вале тартиби пурра бояд то ҳол фарқияти онҳоро дар бар гирад. Ба ибораи дигар, номуайянии минималиро танҳо бо тартиби худпайваستا кафолат додан мумкин аст, ки тамоми маълумоти мавҷударо дар бораи ҳодиса ба

назар мегирад ва дар як вақт ҳамаи бузургҳои аввалияро арзёбӣ менамояд. Мо дар ин ҷо тартиби то андозае соддакардашударо бо назардошти вобастагии сусти раванди арзёбии самт аз энергия ва массаи зарраҳои ибтидоӣ дар диапазонҳои зикршуда тавсиф медиҳем, ки тақрибан ба воқеият мувофиқат менамояд [3–4].

Вобастагӣ дар расми 10 нишондодашуда шакли функционалӣ доранд:

$$CL300(q, \varepsilon) = \exp[\alpha(\varepsilon) + \beta(\varepsilon) \cdot (q + \gamma(\varepsilon))^2], \quad (2)$$

где $\varepsilon = \ln(E_0/1 \text{ ПэВ})$.

Ҳамин тариқ, тартиби арзёбии энергия ва массаи ибтидоӣ ба шакли зерин аст:

- Аз рӯйи нишондодҳои омода намудани детекторҳои оптикӣ зудкор арзёбӣ карда мешаванд:

CL300, ҳолат ва самти меҳвари сел, q .

- Агар q зиёд ё баробар ба 12 бошад, протон зарраи ибтидоӣ ҳисобида мешавад (дар дигар ҳастаҳо амалан чунин нишебҳои вучуд надоранд) ва танҳо барои ҳисоб кардани E_0 боқӣ мемонад. Барои ин баробарии (1) ба намуди зерин табдил дода мешавад:

$$\ln(CL300_{\text{изм}}) = \alpha(\varepsilon) + \beta(\varepsilon) \cdot (q + \gamma(\varepsilon))^2 \quad (3)$$

ва нисбат ба ε ҳамчун муодила баррасӣ карда мешавад. Дар ин маврид барои ба даст овардани вобастагии $\alpha(\varepsilon)$, $\beta(\varepsilon)$, $\gamma(\varepsilon)$ интерполясияи лагранжӣ аз рӯйи се гирех: $\varepsilon = 0, 2, 3, 4, 6$, истифода мешавад, ки барои онҳо маълумотҳои ҳисобшуда мавҷуданд.

- Агар q аз 12 хурд бошад, аввал арзёбии тахминии энергия бо истифода аз $E_0 = E_0(CL300)$ барои ягон ҳастаи дилхоҳ, масалан, барои ҳастаи нитроген сурат мегирад, азбаски ин арзёбиҳо на бештар аз 15% фарқ мекунанд, меъёри арзёбии массае, ки мо ба даст овардем [5-8], дар диапазони баррасишаванда аз аз энергияи ибтидоӣ вобаста нест.

Дар диапазони 1-100 ПэВ робитаи $E_0(CL300)$, ки ҳангоми калон набудани q исфиода мешавад, ба функсияи наздик карда шуд:

$$E_0(CL300) = 10^{p_0} \cdot CL300^{p_1}, \quad (4)$$

дар ин ҷо бузургҳои p_0 ва p_1 қиматҳои зерин дораштанд:

барои протонҳо: $p_0 = -9,94 \pm 0,40$, $p_1 = 1,028 \pm 0,038$,

барои ҳастаҳои нитроген: $p_0 = -9,50 \pm 0,22$, $p_1 = 0,987 \pm 0,021$,

барои ҳастаҳои оҳан: $p_0 = -9,23 \pm 0,14$, $p_1 = 0,964 \pm 0,013$.

Пас аз муайян кардани синфи эҳтимолии i аз рӯйи массаи ибтидоӣ, энергия бояд бо истифода аз муносибати мувофиқ $E_0 = E_0(CL300, A_i)$ озод карда шавад.

Агар ҳодиса ба синфи протонҳо мансуб бошад, энергия бояд тавре, ки дар банди 2 тавсиф шудааст, гузаронида шавад.

Инчунин хатои систематикӣ арзёбии E_0 -ро мувофиқи тартиби гузаронидашуда баррасӣ кардем, ки ин ба фарқияти амсилаҳои мутақобилаи пурзӯр ҳангоми фавкулэнергия QGSJET01 и QGSJET-II-04 вобаста аст. Барои $E_0=1$ ПэВ он аз 8% зиёд набуда, барои $E_0=10$ ПэВ – 10% мебошад.

Ҷадвали 6. Номуайянии энергияи зарраҳои ибтидоӣ, барои ҳастаҳои p, N, Fe

Ҳастаҳои ибтидоӣ	E_0 , ПэВ	Ҳатогии арзёбӣ E_0 , %, CORSIKA/QGSJET01	Ҳатогии арзёбӣ E_0 , %, CORSIKA/QGSJET-II-04
p	1	14.1	20
	10	26.9	10
	100	21.7	
N	1	5.8	6.3
	10	6.2	8.9
	100	8.7	
Fe	1	5.1	4.5
	10	3.0	5.6
	100	4.3	

Дар хулосаи диссертатсия натиҷаҳо ва хулосаҳои асосии кори анҷомшуда оварда шудааст:

Натиҷа ва хулосаҳои асосии кори диссертатсионӣ:

- 1) Модели интиҳобкардаи мо функсияи наздикшавиро дар диапазонҳои энергияи 1-100 ПэВ хуб тавсиф мекунад. [1- М, 2- М, 3- М, 4- М, 5- М].
- 2) Ҳалли масъалаи баръакс барои селҳои протонӣ нишон дод, ки дақиқии тақрибан ба даст овардашуда барои муайян кардани самти омад, номуайянии $\sim 0,1$ градус ва нуқтаи афтидани меҳвари он номуайянии ~ 1 м кофӣ аст. [3- М, 4- М, 5- М, 7- М].
- 3) Моделҳои фронт ва тақсимоти уфуқии нур, инчунин тағиребии онҳо намунаҳои мавҷудаи рӯйдодҳои сунъиро бомуваффақият тасвир мекунад. Функсияҳои миена ва тағиребии дар намунаҳои 60 ҳодиса ба даст овардашуда аз функсияҳои шабеҳи намунаҳои 30 ҳодиса қариб фарқ намекунад. [1- М, 2- М, 3- М, 4- М, 5- М].
- 4) Қисми оптикии пешниҳодшуда дар таҷҳизоти "Памир-XXI" имкон медиҳад, ки дақиқии зарурии муайян кардани самт ва мавқеи меҳвари зарро дар диапазонҳои энергияи 1-100 ПэВ ба даст оред. [1- М, 2- М, 3- М, 4- М, 5- М, 6- М, 7- М].
- 5) Тартиби арзебии энергияи ибтидоии зарра аз ҳастаи ихтиёрӣ сохта шудааст, ки алгоритми арзебии массаи ибтидоироро дар бар мегирад. Ҳатогии миенаи квадратии арзебии E_0 дар диапазони 1-100 ПэВ аз 15% зиёд нест, ҳатогии системавӣ аз ҳисоби номуайянии модели интиҳобшуда дар диапазони 1-10 ПэВ аз 10% зиёд нест. [1- М, 2- М, 3- М, 4- М, 6- М, 7- М].

б) Санҷиши тартиби баҳодиҳии E_0 дар намунаи протонҳои 30 ПэВ дақиқии эълоншудаи баҳохоро тасдиқ мекунад (на бадтар аз 15%). [1-А, 2-А, 3-А, 6-А].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо.

Натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур барои банақшагири, лоиҳакашӣ ва сохтани дастгоҳҳои баландкӯҳӣ доир ба таҳқиқи нурҳои кайҳонии баланд ва фавқулбаландэнергия муфид аст. Усули коркарди дастгоҳ барои ба қайд гирифтани селҳои васеи атмосферӣ (СВА), ки яке аз масъалаҳои классикии физикаи нурҳои кайҳониро ҳал кард метавонад ва маҳз барои гирифтани тайфи энергетикӣ ва таркиби массавии нурҳои ибтидоии кайҳонии (НКИ) фавқулэнергия, ки аз нуқтаи назари астрофизикаи зарраҳои фавқулэнергия хеле муҳиманд ва метавонанд ҳам барои дигар лоиҳаҳои баландкӯҳ ва ҳам барои усули СВА умуман муфид бошанд.

РҶҲАТИ ИНТИШОРОТИ МУАЛЛИФ ДОИР БА МАВЗҶИ ДИССЕРТАТСИЯ:

[1-М]. **Латипова, С.З.** Аппроксимация фронта и поперечного распределения черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря / **С.З. Латипова** // Вестник ТНУ. - 2013. - № 2. - С. 165-169.

[2-М]. **Латипова, С. З.** Метод определения параметров первичной частицы широкого атмосферного ливня высокогорной установкой / В. И. Галкин, А. С. Борисов, Р. Бахромзод, В. В. Батраев, **С. З. Латипова**, А. Р. Мукумов // Вестник Московского Университета. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. - 2018. -№2. - С.56-62.

[3-М]. **Латипова, С. З.** Поперечное распределение черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1 ПэВ на высоте 4250м над уровнем моря / **С.З.Латипова**, В.И., Галкин, Г.П. Шозиёев // Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. -2017. - Т. 1. - № 3. -С. 69-75.

[4-М]. **Латипова, С. З.** Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью высокогорной установк. / **С. З. Латипова**, В. И. Галкин // Учёные записки физического факультета Московского Университета. - 2020. - № 3. - С. 265-271.

[5-М]. **Латипова, С. З.** Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью установки ПАМИР-XXI / **С. З. Латипова**, В. И. Галкин // Республиканский научно-практическая конференция посвящённой «Двадцатилетию изучения развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования) на тему «Современные проблемы физики конденсированное состояние и ядерная физика» - ТНУ, Душанбе - 2020. - № 3. - С. 205-207.

[6-М]. **Латипова, С. З.** Процедура определения положения и направления оси ШАЛ сетью быстрых оптических детекторов ПАМИР-XXI / В. И. Галкин, **С. З. Латипова** // Вестник ТНУ-серия естественных наук. 2022.- №3. - С-224-238.

[7-M]. Galkin, V.I. EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array/ V.I. Galkin, A.S. Borisov. R. Bakhromzod, V.V. Batraev, **S. Latipova**, and A. Muqumov // EPJ Web of Conferences 145, 15004 (2017) DOI: 10.1051/epjconf/201714515004/ EPJ Web Conf. /Volume 145, 2017.

[8-M]. **Латипова С. З.** Extensiv air shower energy estimate by optical part of Pamir-XXI detector array /Республиканский научно-практическая конференция посвященной «Двадцатилетию изучения развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. ТНУ, Душанбе - 2020. - С.4.

Рӯйхати адабиёти истифодашуда

[1]. Borisov, A.S. Design of a Cherenkov telescope for the measurement of PCR composition above 1 PeV / A.S. Borisov and V.I. Galkin // J. Phys.: Conf. Ser. - 2013. - №.1. - С. 409. -p.012089.

[2]. Galkin, V. I., EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array. / V. I. Galkin, A. S. Borisov, R. Bakhromzod, V. V. Batraev, S.Z. Latipova, A.R. Muqumov//EPJ Web of Conferences. - 2017. -145. - 15004.

[3]. Галкин В.И., Борисов А. С., Бахромзод Р., Батраев В.В., Латипова С. З., Мукумов А.Р. / Метод определения параметров первичной частицы широкого атмосферного ливня высокогорной установкой / В.И. Галкин, А. С. Борисов, Р. Бахромзод, В.В. Батраев, С. З. Латипова, А.Р. Мукумов / Вестн. Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия. -2018. -№2. - С. 56-62.

[4]. Topchiev, N.P. Designing of a comprehensive high altitude EAS array for primary particle determination within the PAMIR-XXI project / N.P. Topchiev, A.S. Borisov, V.V. Batraev, R. Bakhromzod, V.I. Galkin, A.R. Muqumov. //ICRC. - 2017. -Vol. 301.- p. 475.

[5]. Galkin, V. I. EAS primary particle parameter estimation with the complex Pamir-XXI detector array / V. I. Galkin, A. S. Borisov, R. Bakhromzod, V. V. Batraev, S.Z. Latipova, A.R. Muqumov // EPJ Web of Conferences. - 2017. -Рр. 145.

[6]. Бахромзод, Р. Поиск оптимальных критериев для выделения широких атмосферных ливней от γ -квантов / Р.Бахромзод, В.И. Галкин // Ученые записки физического факультета Моск. Ун-т.- 2018. -Т. 3. - № 3. - С. 183-203. https://www.researchgate.net/publication/331530533_Poisk_optimalnyh_kriteriev_dla_vydelenia_sirokih_atmosfernyh_livnej_ot_g-kvantov

[7]. Латипова, С. З. / Оценка энергии широких атмосферных ливней оптической частью высокогорной установок /Латипова С. З., Галкин В. И. //Учёные записки физического факультета Московского Университета. -2020. - № 3. -С. 265-271

[8]. Полухина, Н.Г. Исследования актуальных проблем ядерной физики на основе методики полностью автоматизированной обработки трековых детекторов на многофункциональной установке ПАВИКОМ/ Полухина, Наталья Геннадьевна //дис.д.физ.-мат. наук. - М. – 2006. – 101 с.

АННОТАТСИЯИ

рисолаи илмии Латипова Сарвиноз дар мавзӯи «Раванди муайян намудани мавкеи самт ва мехвари селҳои васеи атмосферӣ (СВА) бо ерии шабакаи ҳисобгиракҳои оптикӣ тезкор дар дастгоҳи ПОМИР-XXI.» барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои физика ва математика аз рӯи ихтисоси 01.04.01 – «Асбобҳо ва методҳои физикаи таҷрибавӣ».

Калимаҳои калидӣ: сели васеи атмосферӣ, рӯшноии черенковӣ, детекторҳои оптикӣ зудкор, қисми оптикӣ дастгоҳ, самти омадан, ҳолатҳои мехвар (СВА), сели афтанда.

Мақсади таҳқиқот: Вазифа аз он иборат аст, ки маҷмӯи детекторҳои черенковие сохта шаванд, ки барои ҳалли масъалаи арзёбии масса/навъи зарраҳои ибтидоӣ оптимизатсия карда шудаанд.

Объекти таҳқиқоти кори мазкур омӯзиши НКИ дар соҳаи фавкулэнергияҳо ($E_0 > 10^{15}$ эВ) мебошанд.

Предмет (мавзӯ)-и таҳқиқот омӯзиши ҷанбаҳои астрофизикӣ тавсифоти НКИ, инчунин маънидод кардани хусусиятҳои мутақобилаи адронӣ ҳангоми фавкулэнергия мебошанд.

Усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда: натиҷаҳои асосии дар кори диссертатсион пешниҳодшуда бо ёрии усулҳои моделсозии статистикӣ ба даст омадаанд. Ҳангоми моделсозӣ пакети машҳури CORSIKA истифода шуда, ҳангоми коркарди маълумотҳо аз воситаҳои барномавии стандартӣ CERN (MINUIT, ROOT) ва усулҳои адабии эътирофшуда истифода шудаанд.

Натиҷаҳои ҳосилнамуда ва нағзҳои он:

- Дар асоси таҳлили моделсозии статистикӣ Натиҷаҳои амсиласозии маълумотҳо бо натиҷаҳои, ки дар дигар дастгоҳҳои шабех ба даст оварда шудаанд, муқоиса ва инчунин, таълифотҳо дар ин мавзӯ низ анҷом дода шуданд.

- Барои таҷрибаи Помир-XXI наздикшавии фронт ва паҳншавии арзии рӯшноии черенковӣ селҳои васеи атмосферӣ аз ҳастаҳои гуногун бо энергияи 1-100 ПеВ гузаронида шуд. Шакли функсияҳои наздикшавӣ барои фронт ва ФТФ аз РЧ СВА интиҳоб карда шуданд.

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

- Усули коркарди дастгоҳ барои ба қайд гирифтани селҳои васеи атмосферӣ (СВА), ки яке аз масъалаҳои классикӣ физикаи нурҳои кайҳониро ҳал кард метавонад ва маҳз барои гирифтани тайфи энергетикӣ ва таркиби массавии нурҳои ибтидоӣ кайҳонӣ (НКИ) фавкулэнергия, ки аз нуқтаи назари астрофизикаи зарраҳои фавкулэнергия хеле муҳиманд.

Натиҷаҳои кор метавонанд ҳам барои дигар лоиҳаҳои баландкӯҳ ва ҳам барои усули СВА умуман муфид бошанд.

Соҳаи истифодабарӣ: физикаи нурҳои кайҳонӣ, физикаи зарраҳои бунёдӣ, физикаи ҳаста ва физикаи зарраҳои баландэнергӣ.

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Латиповой Сарвиноза, на тему «Определения положения и направления оси шал сетью быстрых оптических детекторов ПАМИР-XXI», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Ключевые слова: широкие атмосферные ливни, черенковский свет, быстрые оптические детекторы, направление прихода, проскочившие ливни.

Цель исследования: заключается в определении первичных параметров космических лучей сверхвысоких энергий.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Создание алгоритма оценки первичного направления для расчетных моделей фронта и поперечного распределения черенковского света ШАЛ от разных первичных ядер.
2. Создание алгоритма оценки энергии первичных космических ядер при энергиях выше 10^{15} эВ (1ПэВ).
3. Определение точности оценки направления прихода, положения оси и энергии ШАЛ от первичной частицы в диапазоне энергий 1-100 ПэВ.

Объектом исследования является изучение ПКЛ в области сверхвысоких энергий ($E_0 > 10^{15}$ эВ).

Предметом исследования является Изучение астрофизических аспектов характеристик ПКЛ при сверхвысоких энергиях.

Методы исследования, использованная аппаратура: моделирование и обработка проводились с помощью кодов CORSIKA, MINUIT и ROOT, широко используемых в мировой практике. Результаты моделирования сопоставлялись с результатами, полученными на других аналогичных установках, а также проводились публикации по данной тематике.

Полученные результаты и их новизна:

1. Аппроксимации фронта и поперечного распределения черенковского света широких атмосферных ливней от различных ядер с энергией 1-100 ПэВ для установки Памир - XXI.
2. Выбран вид аппроксимирующих функций для фронта и ФПР ЧС ШАЛ.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

Конкретная задача работы заключается в формулировке общих черт конструкции и демонстрации возможностей установки для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ), которая может решить одну из классических задач физики космических лучей, а именно, получить энергетический спектр и массовый состав первичных космических лучей (ПКЛ) сверхвысоких энергий, важные с точки зрения астрофизики частиц сверхвысоких энергий.

Область применения: физика космических лучей, физика элементарных частиц, физика сверхвысоких энергий.

ANNOTATION

of the dissertation Latipova Sarvinoz on theme « Procedure for determining the axis position and direction by the optical part of a detectors PAMIR-XXI», presented for the degree of candidate of physical and mathematical sciences on specialty as of 01.04.01 – «Instruments and methods of experimental physics»

Keywords: extensive air showers, Cherenkov Light, fast optical detectors, direction definition, axis positions, overshoot showers.

Purpose of the work: is to determine the primary parameters of ultrahigh-energy cosmic rays.

1. Creation of an algorithm for estimating the primary direction for computational models of the front and transverse distribution of Cherenkov light from different primary nuclei.
2. Creation of an algorithm for estimating the energy of primary cosmic nuclei at energies above 1015 eV (1PeV).
3. Determination of the accuracy of estimating the direction of arrival, the position of the axis and the energy of the SHAL from the primary particle in the energy range of 1-100 PeV.

The subject of the study was the study of PCL in the field of ultrahigh energy ($E_0 > 1015$ eV). Study of astrophysical aspects of PCL characteristics at ultrahigh energies.

Research methods, equipment used: modeling and processing were carried out using the codes CORSIKA, MINUIT and ROOT, widely used in world practice. The simulation results were compared with the results obtained at other similar installations, and publications on this topic were also carried out.

The results obtained and their novelty:

Approximations of the front and transverse distribution of the Cherenkov light of broad atmospheric showers from various nuclei with an energy of 1-100 PeV for the Pamir - XXI installation were carried out.

The type of approximating functions for the front and FPR of the emergency is selected.

Recommendations for the practical use of the results:

The specific task of the work is to formulate the general features of the design and demonstrate the capabilities of the installation for recording broad atmospheric showers (EAS), which can solve one of the classical problems of cosmic ray physics, namely, of astrophysics of ultrahigh energy particles.

Application area: cosmic ray physics, elementary particle physics, ultrahigh energy physics.