

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата физико-математических наук Правдина Михаила Ивановича
на диссертацию Ивановой Анны Леонидовны

«Исследование возможностей сцинтилляционной установки Tunka-Grande для изучения первичных космических лучей в области энергий 10^{16} – 10^{18} эВ», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Диссертация А. Л. Ивановой связана с исследованиями космических лучей (КЛ) сверхвысоких энергий. В ней были изучены с помощью численного моделирования характеристики новой установки для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) Tunka-Grande и разработана методика и базовые программы обработки и анализа ее экспериментальных данных. В этой установке используются сцинтилляционные детекторы как для измерения электромагнитной компоненты ШАЛ, так и потока мюонов в ливнях. Tunka-Grande располагается в пределах существующей установки Тунка-133, которая находится в Тункинской долине (республика Бурятия) недалеко от о. Байкал и регистрирует ШАЛ оптическими детекторами по черенковскому излучению. Строительство Tunka-Grande является первым этапом в реализации масштабного проекта по созданию гамма-обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray and Gamma Astronomy), предназначенной для детального исследования свойств КЛ в области 10^{14} – 10^{19} эВ и решения задач гамма астрономии (поиск источников, оценка диффузионного потока) в новой области энергий фотонов 10^{15} эВ и выше.

Исследование космических лучей в диапазоне 10^{15} – 10^{18} эВ остается актуальной проблемой астрофизики. Согласно современным представлениям в этой области может происходить переход от галактической компоненты КЛ к внегалактической. Имеющиеся на сегодня теоретические и экспериментальные результаты допускают два различных сценария формирования суммарного спектра КЛ. В первом из них галактическая компонента доминирует в суммарном спектре при энергиях вплоть до 10^{17} эВ, а внегалактическая — при энергиях выше 10^{18} эВ. Во втором сценарии область перехода от галактической к внегалактической компоненте КЛ соответствует на порядок большим энергиям. Эти два сценария отличаются особенностями в энергетическом спектре и существенно различным ожидаемым составом КЛ в диапазоне энергий выше 10^{17} эВ. Экспериментальные данные новой установки Tunka-Grande, исследованию характеристик которой посвящена работа Ивановой А.Л., совместно с данными всех детекторов в составе гамма-обсерватории TAIGA, позволят подняться на качественно новый уровень в изучении свойств КЛ.

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Объем диссертации 114 страниц, список литературы включает 110 наименований. Во введении формулируется цель работы, обосновывается актуальность темы, кратко изложены основные результаты, новизна, практическая и научная ценность работы диссертации. В первой главе приводится обзор основных экспериментов по исследованию КЛ в области сверхвысоких энергий методом ШАЛ. Во второй главе приводится описание установки Тунка-133 и создаваемого сцинтилляционного комплекса Tunka-Grande.

Последние три главы содержат описание выполненной соискателем работы и полученные результаты. В третьей главе с помощью программного пакета AirES были получены модельные соотношения между энергией первичной частицы и наблюдаемыми в эксперименте параметрами ливня для протонов и ядер железа, приходящих под разными зенитными углами. Эти соотношения были использованы в генераторе искусственных ливней, предназначенным для моделирования работы установки Tunka-Grande. Алгоритм этого генератора описан в четвертой главе. В пятой главе приводится описание методики восстановления экспериментальных данных Tunka-Grande, по искусственным ливням сделаны оценки ее энергетического разрешения, возможности получения оценок массового состава КЛ и выделения гамма-квантов. В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные в работе.

В целом работа выполнена на высоком уровне, поставленные задачи успешно решены. Диссертация свободна от существенных недостатков, однако можно сделать следующие замечания.

Опечаток в тексте немного, но совсем избежать их не удалось, например, опечатка допущена в ссылке 30 в адресе сайта с описанием пакета AIREES. В ссылках на некоторые эксперименты, упоминаемые во введении и главе 1, приводится только адрес сайта. Желательно было также указать данные основной публикации, содержащей описание этого эксперимента.

Описание пакета AIREES в начале главы 3 можно было дать более развернутое с указанием его главных особенностей и преимуществ. Недостаточно четко описан генератор искусственных ливней в главе 4, тут была бы полезна иллюстрация в виде блок-схемы.

В розыгрыше направления прихода в качестве распределения по зенитному углу θ использовалась функция $\cos^n\theta$, где $n=8$ для всех энергий (стр. 68). Значение показателя $n=8$ хорошо подходит для пороговых энергий, и позволяет, вероятно, на порядок сократить количество «пустых» розыгрышей, но для больших энергий возникает искажение в представленности разыгранных событий в разных интервалах зенитных

углов, по сравнению с распределением для реальных ливней, которые будет регистрировать установка. С определенной энергии это будет равномерное распределение на небесной сфере ($n=2$). По этой причине результаты по эффективной площади в промежуточной области носят оценочный характер.

При моделировании времени срабатывания детекторов после его определения из формул для плоского фронта производится розыгрыш по нормальному закону сигмой 10 нс, который учитывает крутизну фронта ливня (раздел 4.6, стр. 75). Если это учет влияния структуры фронта ливня и флуктуаций момента прихода первой частицы, то необходимо было дать обоснование используемой величины сигма 10 нс либо по экспериментальным данным, либо по модельным оценкам.

Сделанные замечания существенно не влияют на научную и практическую ценность достигнутых автором результатов и не меняют общей высокой оценки работы.

Положения, заложенные в работу для решения поставленных задач, соответствуют современным физическим представлениям. Приведенные соискателем выводы вполне обоснованы, поскольку получены на основе современных моделей развития ШАЛ и имеющихся экспериментальных данных.

Достоверность основных выводов диссертации А. Л. Ивановой обеспечена использованием корректных и хорошо апробированных методов моделирования ШАЛ на основе модели QGSJet, в последних вариантах которой учитываются результаты по адронным взаимодействиям, полученные на Большом адронном коллайдере. Диссертанту удалось создать методику анализа экспериментальных данных для нового синцитиляционного комплекса Tunka-Grande и с помощью моделирования получить важную информацию о характеристиках этой установки, включающую, в частности, оценку эффективной площади регистрации и энергетического разрешения. Кроме того, разработанное программное обеспечение по восстановлению экспериментальных данных было протестировано на искусственных ливнях. В работе получены важные результаты, которые могут быть использованы в дальнейшем для получения новых сведений о космических лучах сверхвысоких энергий.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации опубликованы в российских и международных журналах, входящих в перечень ВАК, а также были доложены на нескольких всероссийских и международных конференциях.

Диссертация Ивановой А.Л. представляет собой завершённое исследование актуальной научной проблемы, выполненное на высоком уровне, характеризующееся новизной и значимостью, свидетельствующее о высокой квалификации автора. Диссертация вносит

существенный вклад в развитие исследований, проводимых в космических лучах сверхвысоких энергий.

Диссертация А. Л. Ивановой полностью удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842. Считаю, что Анна Леонидовна Иванова заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Ведущий научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского
отделения Российской академии наук»
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

/М.И. Правдин/

«16» февраля 2016 г.

677980, г.Якутск, просп.Ленина, 31
Телефон: +7(4112) 390-456; e-mail: pravdin@ikfia.sbras.ru

Подпись Правдина Михаила Ивановича заверяю

Учёный секретарь ИКФИА СОРАН

кандидат физико-математических наук



Г.А. Макаров