

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной работе
и международной деятельности
ФГБОУ ВПО «ИГУ», профессор,
доктор химических наук,

А.Ф. Шмидт

21 » октября 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет»

Диссертация «Исследование возможностей сцинтилляционной установки Tunka-Grande для изучения первичных космических лучей в области энергий $10^{16} \div 10^{18}$ эВ» выполнена на кафедре теоретической физики физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации. В период подготовки диссертации соискатель Иванова Анна Леонидовна являлась аспирантом очной формы обучения по специальности 01.04.02 – теоретическая физика на физическом факультете федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет». В 2008 году закончила физический факультет ФГБОУ ВПО «ИГУ» по специальности «Радиофизика и электроника». С 2012 г. работает в Научно-исследовательском институте прикладной физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации в должности младшего научного сотрудника. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2014 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный институт «МИФИ» Министерства образования и науки Российской Федерации. Научные руководители - доктор физико-математических наук, профессор Калмыков Николай Николаевич, основное место работы: федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, главный научный сотрудник лаборатории наземной гамма-астрономии отдела космических наук; доктор физико-математических наук Буднев Николай Михайлович, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет», декан физического факультета.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Ивановой А. Л. посвящена исследованию возможностей сцинтилляционной установки Tunka-Grande для изучения первичных космических лучей (ПКЛ) в области энергий $10^{16} \div 10^{18}$ эВ. В диссертации определены характеристики установки Tunka-Grande и рассмотрены перспективы использования сцинтилляционного комплекса в исследовании энергетического спектра и массового состава ПКЛ. Выполненная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Актуальность темы диссертации бесспорна. Исследования космических лучей сверхвысоких энергий ($> 10^{15}$ эВ) привлекают внимание специалистов как по астрофизике, так и по физике элементарных частиц. Особый интерес представляют исследования в диапазоне энергий от 10^{16} до 10^{18} эВ, где происходит переход от галактических космических лучей (ГКЛ) к внегалактическим. Регистрация широких атмосферных ливней (ШАЛ) является единственным методом изучения ПКЛ в указанном диапазоне энергий. Перспективным представляется регистрация в одном эксперименте как можно большего числа компонент ШАЛ, поскольку наличие дополнительной информации о регистрируемой ливне позволит более точно восстанавливать информацию о сгенерировавшей его первичной частицы. Ожидается, что в результате работы новой сцинтилляционной установки Tunka-Grande совместно с другими установками гамма-обсерватории TAIGA будут получены качественно новые экспериментальные данные о ПКЛ в области энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ. Созданная методика реконструкции событий представляет интерес для широкого круга исследователей, изучающих ПКЛ с помощью различных установок.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов. Автор принимала участие на всех этапах создания сцинтилляционной установки в Тункинской долине. При непосредственном участии автора разработан пакет программ, позволяющий определить не только характеристики новой установки, но и качество разработанной методики восстановления исходных параметров ШАЛ. Создана программа моделирования отклика

сцинтилляционных детекторов при совместной работе с установкой Тунка-133. Разработано программное обеспечение, позволяющее обрабатывать как «искусственные» события ШАЛ, так и реальные экспериментальные данные. Автором проведен анализ возможности восстановления особенностей в энергетическом спектре ПКЛ при помощи разработанных им программ и алгоритмов.

Исследования, составляющие основу диссертационной работы, выполнены в соавторстве с Н.М. Будневым, Н.Н. Калмыковым, Л.А. Кузьмичевым, В.П. Сулаковым и Ю.А. Фоминым. Результаты работы, сформулированные в защищаемых положениях, получены и интерпретированы, в основном, лично соискателем. Существенная часть публикаций по теме диссертации подготовлена и написана автором.

Степень достоверности результатов. Результаты диссертационного исследования получены на основе современных методов обработки, численных методов и теоретических моделей, наиболее адекватно описывающих адронные взаимодействия при сверхвысоких энергиях. Результаты, полученные с использованием разработанной методики реконструкции событий, согласуются с экспериментальными данными действующей черенковской установки Тунка-133.

Основные новые результаты диссертационной работы. К числу новых результатов следует отнести создание методики моделирования и обработки данных сцинтилляционной установки Tunka-Grande, расположенной в Тункинском астрофизическом центре коллективного пользования ИГУ. Соискателем проведено моделирование работы новой сцинтилляционной установки Tunka-Grande. При этом тщательно рассмотрены методические вопросы, связанные с расчетом функций пространственных распределений (ФПР) электронов и мюонов в ШАЛ. К достижениям Ивановой А. Л., несомненно, следует отнести развитие метода обработки данных, позволяющего определять параметры индивидуального ШАЛ и вызвавшей его первичной частицы. Соискателем получено, что при попадании оси ливня в пределы сцинтилляционной установки пороговая энергия установки, соответствующая эффективности регистрации 90%, равна $8 \cdot 10^{15}$ эВ, при энергии 10^{16} эВ эффективность составляет 95%, а при энергии $3 \cdot 10^{16}$ эВ доходит до 99%. Показано, что точность восстановления числа электронов составляет 17% при энергии 10^{15} эВ, а при энергии 10^{16} эВ доходит до 10%. Начиная с энергии 10^{16} эВ точность восстановления числа мюонов 25%, определение направления прихода первичной частицы оказывается не хуже 1.4° . Погрешность в определении положения оси ливня составляет 17м при энергии 10^{16} эВ, а при энергии $3 \cdot 10^{16}$ эВ не превышает 10 м.

Проведен анализ возможности восстановления энергетического спектра ПКЛ по данным новой установки. Показано, что показатель энергетического спектра может быть восстановлен с погрешностью порядка 0.01, и лишь в области энергий более 10^{17} эВ, где нельзя рассчитывать на получение большой статистики за разумное время работы (3 года), погрешность доходит до 0.05. Показано также, что возможные нерегулярности в спектре на масштабе $\Delta(\lg E)$ порядка 0.2 могут быть адекватно воспроизведены установкой.

Проведен анализ возможности восстановления массового состава ПКЛ по данным новой установки и показано, что достигнутые точности в определении числа электронов и мюонов позволяют вести анализ массового состава стандартными методами. Дополнительное привлечение к анализу данных черенковской части установки о глубине максимума ливня даёт возможность значительно (вплоть до порядка) повысить достоверность выделения различных групп ядер.

Существенно, что результаты получены со статистикой, значительно большей по сравнению с экспериментальной, что дало возможность повысить их надёжность.

Таким образом, для публичной защиты будут выдвинуты следующие положения:

- Метод моделирования процесса регистрации ШАЛ сцинтилляционными детекторами Tunka-Grande и методика восстановления параметров ливней и характеристик ПКЛ.
- Оценка эффективности регистрации ШАЛ при попадании оси ливня в пределы сцинтилляционной установки, энергетического разрешения, радиуса эффективной регистрации ливней сцинтилляционного комплекса Tunka-Grande.
- Точность и качество восстановления основных параметров ШАЛ (направления прихода и положения оси ливня, полного числа заряженных частиц и полного числа мюонов) полученные при использовании разработанной методики обработки событий.
- Результаты восстановления энергетического спектра ПКЛ по смоделированным данным в области энергий 10^{16} - 10^{18} эВ при использовании разработанной методики обработки событий.
- Возможность анализа массового состава ПКЛ по данным установки Tunka-Grande.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики определяется тем, что на их основе:

- определена оптимальная геометрическая конфигурация установки Tunka-Grande, позволяющая достичь высокой эффективности регистрации ШАЛ;
- разработана методика анализа электрон-фотонной и мюонной компонент ШАЛ с помощью детекторов заряженных частиц и мюонных детекторов большой

площади, позволяющая независимо от калориметрической черенковской установки Тунка-133 восстанавливать исходные параметры ШАЛ и вызвавшей его первичной частицы с высокой точностью.

- будет проводиться постоянный мониторинг абсолютной энергетической калибровки черенковской установки Тунка-133 путем сравнения результатов получаемых разными методами на установках Тунка-133 и Tunka-Grande.

Научная специальность, которой соответствует диссертация. Диссертация “Исследование возможностей сцинтилляционной установки Tunka-Grande для изучения первичных космических лучей в области энергий $10^{16} \div 10^{18}$ эВ” Ивановой А.Л. соответствует специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Материалы диссертации достаточно полно отражены в 16 работах опубликованных в зарубежных и российских изданиях.

Научные статьи, опубликованные в рецензируемых российских журналах из перечня, утвержденного ВАК:

1. Н.М. Буднев, А.Л. Иванова, Н.Н. Калмыков, Л.А. Кузьмичев, В.П. Сулаков, Ю.А. Фомин. Моделирование сцинтилляционного эксперимента Тунка-133 // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2014. №4. с.80-85
2. Н.М. Буднев, А.Л. Иванова, Н.Н. Калмыков, Л.А. Кузьмичев, В.П. Сулаков, Ю.А. Фомин. Эксперимент TUNKA-GRANDE: сцинтилляционная часть гамма-обсерватории TAIGA. // Известия РАН. Серия физическая. 2015. т. 79. №3. с.430-431.
3. Н.М. Буднев, А.Л. Иванова, Н.Н. Калмыков, Л.А. Кузьмичев, В.П. Сулаков, Ю.А. Фомин. Возможности сцинтилляционного эксперимента Tunka-Grande в изучении массового состава первичных космических лучей // Вестн. Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия. 2015. № 2. с. 80-84.

Научные статьи, опубликованные в зарубежных научных журналах и изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и SCOPUS и включенных в список ВАК :

4. M. Kunnas, S.F. Berezhnev, N. M. Budnev, M. B ker , O. B. Chvalaev et al. The hardware of the HiSCORE gamma-ray and cosmic ray Cherenkov detector// AIP Conf.Proc. 2012. Vol. 1505, p. 825-828
5. M. Tluczykont, M. Br ckner, N. Budnev, M. B ker , O. Chvalaev et al. HiSCORE: The hundred-i square-km cosmic ORigin explorer// AIP Conf.Proc. 2012. Vol. 1505, p. 821-824
6. S.F. Berezhnev, D. Besson, , N. M. Budnev, M. Br ckner, M. B ker et al. The Tunka - Multi-component EAS detector for high energy cosmic ray studies// Nucl.Instrum.Meth. A. 2013, vol. 732, p. 281-285

7. M. Kunas, M. Brückner, N. Budnev, M. Bükler, O. Chvalaev et al. Hardware and first results of TUNKA-HiSCORE// Nucl.Instrum.Meth. A. 2014, vol. 742, p. 269-270
8. M. Tluczykont, D. Hampf, U. Einhaus, D. Horns, M. Brückner et al. The HiSCORE experiment and its potential for gamma-ray astronomy// J.Phys.Conf.Ser. 2013, vol. 409, no. 1, p. 012120
9. N.M. Budnev, I.I. Astapov, A.G. Bogdanov, V. Boreyko, M. Bükler et al. TAIGA the Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy - present status and perspectives// JINST. 2014, vol 9, C09021
10. S. Epimakhov, M. Brückner, N. Budnev, D. Bogorodskii, O. Chvalaev et al. Amplitude calibration with the HiSCORE-9 array// J.Phys.Conf.Ser. 2015, vol. 632, no. 1, p. 012007
11. N. Budnev, I. Astapov, N. Barbashina, A. Bogdanov D. Bogorodskii, et al. The Tunka detector complex: from cosmic-ray to gamma-ray astronomy// J.Phys.Conf.Ser. 2015, vol. 632, no. 1, p. 012034
12. M. Kunas, I. Astapov, N. Barbashina, S. Beregnev, A. Bogdanov et al. Simulation of the hybrid Tunka Advanced International Gamma-ray and Cosmic ray Astrophysics (TAIGA)// J.Phys.Conf.Ser. 2015, vol. 632, no. 1, p. 012040
13. Porelli, D. Bogorodskii, M. Brückner, N. Budnev, O. Chvalaev et al. Timing calibration and directional reconstruction for Tunka-HiSCORE// J.Phys.Conf.Ser. 2015, vol. 632, no. 1, p. 012041
14. M. Tluczykont, I. Astapov, N. Barbashina, S. Beregnev, A. Bogdanov et al. Towards gamma-ray astronomy with timing arrays// J.Phys.Conf.Ser. 2015, vol. 632, no. 1, p. 012042

Научные статьи, опубликованные в зарубежных научных журналах и изданиях

15. Berezhnev S. F., Besson D., M. Brückner, N. Budnev, O. Chvalaev et al. The Tunka experiment: status 2013//33rd Int. Cosmic Ray Conf., RIO DE JANEIRO, Brazil – 2013, №0418

Тезисы докладов, опубликованные в российских сборниках трудов научных конференций

16. А.Л. Иванова. Моделирование сцинтилляционного эксперимента Тунка-133//33-я Всероссийская конференция по космическим лучам (Дубна, 11-15 августа 2014г.): Тезисы докладов. 2014, с. 18

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы Ивановой А.Л. докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры теоретической физики физического факультета ФГБОУ ВПО «ИГУ», на научных семинарах лаборатории астрофизики элементарных частиц и гамма-астрономии НИИПФ ФГБОУ ВПО «ИГУ».

Основные положения и результаты диссертации были представлены лично соискателем и доложены на двух всероссийских и двух международных конференциях: V Всероссийской молодежной конференции «Фундаментальные и инновационные вопросы современной физики» (г. Москва, 2013г), международной научной конференции «The 40th COSPAR SCIENTIFIC ASSEMBLY» (г. Москва, 2 – 9 августа 2014 г), «33-ей Всероссийской конференции по космическим лучам» (г. Дубна, 11 – 15 августа 2014г), Международной байкальской молодежной научной школе по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» (г. Иркутск, 14 – 18 сентября 2015г)

Заключение

Диссертация «Исследование возможностей сцинтилляционной установки Tunka-Grande для изучения первичных космических лучей в области энергий $10^{16} \div 10^{18}$ эВ» Ивановой Анны Леонидовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Заключение принято на заседании кафедры теоретической физики ФГБОУ ВПО «ИГУ». Присутствовало на заседании 14 чел. Результаты голосования: «за» - 14 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел. Протокол №1 от 28 августа 2015 г.

д-р физ.-мат. наук,

и.о. зав. кафедрой теоретической физики

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет» С.Э. Коренблит С. Э. Коренблит

