

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Монхоева Романа Дмитриевича на тему:
«Сцинтилляционная установка Tunka-Grande для исследования
космического излучения в диапазоне энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ:
создание и результаты»
по специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц,
физика высоких энергий**

Диссертационная работа Р.М. Монхоева посвящена созданию и вводу в эксплуатацию сцинтилляционной установки Tunka-Grande, а также восстановлению энергетического спектра космических лучей (КЛ) и поиску диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ по экспериментальным данным установки Tunka-Grande, полученным за первые 5 сезонов измерений.

Актуальность избранной темы обоснована значительным в настоящее время интересом к детальному изучению энергетического спектра, массового состава и анизотропии КЛ в диапазоне энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ.

Диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения и 4-х приложений. В первой главе приведен обзор работ, посвященных современному состоянию исследований КЛ в области энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ. Показано, что в настоящее время исследования в диапазоне энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ нельзя считать завершенными и для понимания природы КЛ требуются более надежные и точные экспериментальные данные. Из чего следует необходимость создания новых или модернизации существующих установок, а также развития методик детектирования КЛ и обработки экспериментальных данных.

Вторая глава посвящена описанию процесса создания установки Tunka-Grande, здесь же приведено подробное описание устройства установки. В третьей главе, посвященной вводу в эксплуатацию установки Tunka-Grande, приведены описание измеряемых параметров регистрируемых событий, результаты измерения передаточной характеристики системы сбора данных,

представлены методы амплитудной калибровки сцинтилляционных счетчиков, результаты тестирования аппаратно-программного комплекса установки Tunka-Grande и приведено описание процедуры проведения сеансов набора экспериментальных данных.

В четвертой главе приведены описание процедуры реконструкции параметров ШАЛ по экспериментальным данным установки Tunka-Grande и результаты анализа событий, зарегистрированных одновременно установками Tunka-133 и Tunka-Grande. Из сравнения значений восстановленных параметров ШАЛ получена оценка точности восстановления параметров ШАЛ установкой Tunka-Grande. В этой же главе описана методика реконструкции энергии КЛ и показано, что в случае использования параметра ρ_{200} энергетическое разрешение установки Tunka-Grande не хуже 36%.

Основные научные результаты, полученные за первые 5 сезонов измерений установки Tunka-Grande, приведены в пятой главе. Описаны методики восстановления дифференциального энергетического спектра КЛ и поиска диффузного гамма-излучения по экспериментальным данным установки. Представлены дифференциальный энергетический спектр КЛ в диапазоне энергий $10^{16} - 10^{18}$ эВ и ограничение на поток диффузного гамма-излучения в этом же диапазоне энергий по экспериментальным данным установки Tunka-Grande, полученным за период 2017 — 2021 гг.

Диссертация написана ясным языком и достаточно хорошо иллюстрирована. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, вполне достоверны и надежны, поскольку получены на основе хорошо отработанных экспериментальных методов, а также результатов моделирования.

В диссертации автором были представлены следующие результаты (основные положения, выносимые на защиту).

1. Сцинтилляционная установка Tunka-Grande работает в режиме набора экспериментальных данных с 2016 для исследования энергетического

спектра, массового состава и анизотропии КЛ, а также поиска диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий 10^{16} — 10^{18} эВ методом регистрации электрон-фотонной и мюонной компонент ШАЛ.

2. Амплитудная калибровка сцинтилляционных счетчиков установки Tunka-Grande обеспечивает единый энергетический порог регистрации детекторов и переход от измеряемых параметров сигналов к числу частиц.

3. Точность реконструкции параметров ШАЛ по экспериментальным данным установки Tunka-Grande, таких как направление прихода оси ливня и ее положение в плоскости детекторов, не превышает 2.3° и 26м соответственно. Энергетическое разрешение установки не хуже 36%.

4. Дифференциальный энергетический спектр КЛ, восстановленный по экспериментальным данным установки Tunka-Grande в диапазоне энергий 10^{16} — 10^{18} эВ, подтверждает сложную структуру спектра в области предполагаемого перехода от галактических к внегалактическим КЛ.

5. Верхний предел на поток диффузного гамма-излучения, полученный по экспериментальным данным установки Tunka-Grande в диапазоне энергий 10^{16} — 10^{18} эВ, не противоречит аналогичным результатам других экспериментов.

Следует подчеркнуть, что все перечисленные результаты являются новыми и надежно обоснованными. Достоверность полученных результатов также обеспечивается их согласием с результатами других экспериментов.

Результаты данной работы по развитию методик измерений, несомненно, будут полезны при проведении других экспериментов в данной области исследований.

Диссертация соответствует специальности **1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий**, а именно ее направлениям 4 и 13: «Техника и методика эксперимента в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий» и «Методы обработки и анализа экспериментальных данных в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий».

К сожалению, диссертационная работа не свободна от некоторых недостатков, указанных в следующих замечаниях.

1) Во введении, в разделе «Методология и методы исследования», некорректно сформулирован п.1 (Детекторами электрон-фотонной и мюонной компонент ШАЛ установки Tunka-Grande являются сцинтилляционные счетчики, которые ранее успешно использовались на установках EAS-TOP и KASCADE-Grande, а в настоящее время применяются для целей установки НЕВОД-ШАЛ), из которого буквально следует, что счетчики с установки Tunka-Grande настоящее время применяются на установке НЕВОД-ШАЛ.

2) В наземных станциях имеется теплоизолированный контейнер для размещения в нем аппаратуры станции, но вся наземная станция (и, соответственно, сцинтилляционные счетчики) находятся без термостабилизации. Следовало бы указать, как колебания температуры внутри станции влияют на точность измерения параметров ШАЛ.

3) Опечатка в подписи к рисунку 3.2: написано, что это график зависимости амплитуды A от площади Q импульса, а на графике приведена зависимость площади Q от амплитуды A импульса.

4) В описании процедуры реконструкции параметров ШАЛ сказано: “В том случае, если на втором или третьем шаге не удастся восстановить какой-либо параметр, то он принимается равным значению, найденному на предыдущем этапе.” Здесь следовало бы объяснить, что подразумевается под неудачей восстановления параметра и какие значения он может при этом принимать.

5) В описании третьего этапа реконструкции параметров ШАЛ имеется, по-видимому, опечатка. Сказано, что для вычисления плотности частиц на расстоянии 200 м от оси ШАЛ применяется выражение (4.6), но по смыслу это должно быть выражение (4.7).

6) В разделе 4.4.1 (Сравнение значений восстановленных параметров ШАЛ) утверждается, что точность восстановления направления прихода оси

ШАЛ по данным установки Tunka-Grande слабо зависит от числа сработавших станций (рис. 4.6. справа). Следовало бы привести объяснение полученной зависимости, так как в общем случае должно быть увеличение точности с ростом числа сработавших станций.

Вместе с тем, указанные замечания несколько не снижают общего высокого научного уровня работы и не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности **1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий** (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Монхоев Роман Дмитриевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий**

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
заведующий филиалом Баксанской нейтринной обсерватории Института
ядерных исследований Российской академии наук

Петков Валерий Борисович



27.11.2023

Контактные данные:

тел.: +7(866)3875137, e-mail: vpetkov@inr.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц

Адрес места работы:

361609, Кабардино-Балкарская Республика, Эльбрусский район, пос.
Нейтрино, ул. Губасанты, 2а
БНО ИЯИ РАН

Подпись В.Б. Петкова удостоверяю:

Кадровый работник *старший специалист по кадрам*

дата



В.Б. Петков / В.Б. Петков