

Отзыв официального оппонента  
доктора физико-математических наук  
Троицкого Сергея Вадимовича

на диссертационную работу Ивановой Анны Леонидовны

**«Исследование возможностей сцинтилляционной установки Tunka-Grande для изучения первичных космических лучей в области энергий  $10^{16} \div 10^{18}$  эВ»**,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Диссертация Ивановой А.Л. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение двух задач, важных для развития физики космических лучей высоких энергий, – задачи оценки возможностей конструируемой установки Tunka-Grande и задачи создания программы реконструкции параметров первичной частицы широкого атмосферного ливня (ШАЛ) на основе будущих данных этой установки. Безусловная актуальность избранной темы определяется тем, что данное исследование необходимо для ныне создаваемой единственной в стране установки для изучения космического излучения в данном диапазоне энергий.

Установка Tunka-Grande должна стать составной частью комплекса детекторов ШАЛ в Тункинской долине, разные части которого находятся сегодня на разных стадиях развития. Обсуждаемая установка будет состоять из сцинтилляционных детекторов и будет являться важным дополнением к действующим и проектируемым черенковским и радиодетекторам. Рассматриваемая диссертация решает две связанные, но имеющие независимую ценность, задачи.

Первая задача состоит в разработке математической модели установки, которая позволяет, на этапе проектирования и создания детектора, оценить его возможности по восстановлению параметров ШАЛ и их первичных частиц. Это необходимо для определения круга решаемых задач, исследовательских стратегий и даже оптимальной конфигурации развертываемой системы детекторных станций. Для решения этой задачи автор проводит моделирование библиотеки искусственных ШАЛ методом Монте-Карло и строит приближенную модель отклика установки. Это позволяет получить представление о регистрируемых установкой наблюдаемых и сравнить их с известными параметрами, заложенными в моделирование искусственных ливней.

Вторая задача состоит в разработке программы реконструкции параметров ШАЛ на основе этих наблюдаемых. Эта задача связана с первой, поскольку качество восстановления исходных параметров можно оценить только после процедуры реконструкции, однако имеет и независимую ценность, так как может затем использоваться для реконструкции реальных событий.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав и Заключения. Первые две главы представляют собой очень хорошее краткое, но достаточно детальное описание различных экспериментальных установок, регистрирующих или регистрировавших ШАЛ (тункинская установка выделена в отдельную вторую главу). Читая эти описания,

вспоминаешь замечательный обзор Нагано и Ватсона, который, однако же, не содержит описания новых установок, наиболее интересных сегодня. Данная часть диссертации может быть использована в качестве полезного справочного материала и, возможно, в доработанном виде заслуживает публикации в виде отдельной обзорной статьи. В третьей главе описывается процедура моделирования ШАЛ с помощью пакета AIREС. Четвертая глава посвящена моделированию отклика установки, а в пятой представлена программа реконструкции событий.

Автор работы не ставит перед собой цели создать точную Монте-Карло модель установки для будущего использования при сравнении реальных данных с искусственными ливнями, что мотивирует ряд приближений и упрощений, оправданных для решения задачи оценки производительности эксперимента на этапе его создания. Разумеется, для целей анализа реальных данных потребуется более современный уровень Монте-Карло, в котором от этих приближений (прежде всего, от использования усредненных величин и зависимостей, дополненных предположением о пуассоновости флуктуаций) придется отказаться. В диссертации явно отмечено, что ряд предположений действительно сделан только для обсуждаемой сегодня предварительной, но очень важной оценки. Напротив, программа реконструкции практически готова к использованию для анализа будущих реальных данных.

Созданные в рамках работы над диссертацией программы во многом используют успешный опыт установки ШАЛ-МГУ, что определяет как их достоинства, так и недостатки. К числу первых, очевидно, относится апробированность подхода; к числу последних относится основное замечание по научной части диссертационной работы, связанное с использованием числа частиц и плотности числа частиц как основных параметров. Прекрасно подходящее для анализа данных установки, основанной на гейгеровских счетчиках, число частиц становится хуже определенным и более трудным в использовании для сцинтилляторов. Действительно, разные исследования (прежде всего проведенные для экспериментов прошлого поколения AGASA и Яку-ШАЛ) указывают на существенный вклад фотонной компоненты в отклик сцинтилляционного детектора, поэтому современные сцинтилляционные установки, например, Telescope Array Surface Detector, оперируют величиной сигнала на детекторной станции, моделируемого с помощью программы GEANT. В любом случае само использование величины  $N_e$  при анализе результатов Монте-Карло моделирования должно сопровождаться точным ее определением: какие частицы учитываются и с каким порогом по энергии? Этого в тексте диссертации не указано; также отсутствуют и другие детали описания процесса моделирования (использовалось ли прореживание – thinning; если да, то с какими параметрами; какая версия адронной модели QGSJET применялась и т.д.).

Отмечу, что диссертация хорошо написана; несмотря на внимательное чтение, мне не удалось найти ни одной орфографической ошибки (и всего две-три пунктуационных); автор выражается ясным языком, что указывает на полное понимание предмета. Результаты докладывались на международных конференциях и опубликованы в достаточном количестве работ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Актуальность и новизна исследований, равно как и личный вклад автора, не вызывают сомнений. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации,

обоснованы, их достоверность подтверждается рядом проверок. Приведенные в отзыве замечания не меняют общей положительной оценки диссертации и носят характер пожеланий на будущее.

Таким образом, представленная диссертационная работа является важным законченным научным исследованием и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции). Автор работы, Иванова Анна Леонидовна, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «физика высоких энергий».

Доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
отдела теоретической физики  
ФГБУН «Институт ядерных исследований  
Российской академии наук»

С.В.Троицкий

24 февраля 2016 г.

Россия, Москва, проспект 60-летия Октября, 7А

тел.: (499)1352169,

e-mail: st@ms2.inr.ac.ru

Подпись С.В. Троицкого удостоверяю:  
Ученый секретарь ИЯИ РАН,  
кандидат физико-математических наук



А.Д. Селидовкин