

ОТЗЫВ
официального оппонента доктора физико-математических наук
Просина Василия Владимировича

на диссертацию
Мальгина Алексея Семеновича
«Космогенные нейтроны в низкофоновых подземных экспериментах»,
представленной на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра
и элементарных частиц

Диссертация Мальгина А.С. посвящена исследованию характеристик космогенных нейтронов, то есть нейтронов, образуемых мюонами космических лучей: выходу космогенных нейтронов, их энергетическому спектру, пространственному распределению и временному поведению под землей.

Актуальность темы диссертации определяется возросшими требованиями низкофоновых экспериментов по исследованию редких процессов таких, как осцилляции нейтрино, безнейтринный бета-распад, определение потока геонейтрино, поиск частиц темной материи. Экспериментальная минимизация фона и возможность его теоретических точных оценок определяют достоверность результатов таких тонких экспериментов как, например, низкофоновый эксперимент DAMA/LIBRA, авторы которого заявили об обнаружении частиц темной материи по сезонным вариациям интенсивности регистрируемых импульсов.

Космогенные нейтроны являются одним из важнейших источников фона в подземных экспериментах на любых глубинах.

На базе экспериментальных данных, полученных в значительной степени при **личном участии** автора, им была предложена **новая универсальная формула**, с помощью которой можно рассчитывать выход космогенных нейтронов в любом веществе для любой энергии мюонов. Универсальная формула связывает выход космогенных нейтронов с энергопотерями мюонов, средней энергией потока мюонов и массовым числом A вещества, в котором мюоны генерируют нейтроны. Точность

определения выхода нейтронов с помощью этой формулы не хуже, чем погрешность экспериментальных данных (~ 20%).

Феноменологическое рассмотрение механизмов генерации нейтронов позволило автору получить выражение для выхода нейтронов в адронных и электромагнитных ливнях, которые дают основной вклад в величину полного выхода, а также выражение для выхода заряженных пионов в адронных ливнях. Применение универсальной формулы позволило автору получить выражение для потока космогенных нейтронов в стандартном грунте.

Автор анализирует результаты аналитических расчетов выхода космогенных нейтронов и расчетов методом Монте-Карло. Показано, что расчеты методом Монте-Карло с использованием программ FLUKA и Geant4 дают систематически заниженные величины выхода, что говорит о необходимости совершенствования МК-программ для расчета выхода космогенных нейтронов.

В работе описаны измерения энергетического спектра космогенных нейтронов как при **личном участии** автора в эксперименте LVD, так и в ряде других экспериментов. Форма спектра генерации имеет трехкомпонентный вид. Вторая ветвь спектра при энергиях более 30 МэВ имеет степенной вид с показателем -1. При некоторой энергии перегиба, зависящей от атомного номера вещества она переходит в третью ветвь с показателем -2. Автор на базе аддитивной кварковой модели находит объяснение формы каждой компоненты и определяет энергию перегиба спектра и ее зависимость от атомного номера вещества.

С привлечением представлений о пространственной области образования нейтронов мюонами в подземных экспериментах и форме спектра генерации космогенных нейтронов установлена форма спектра изолированных нейтронов, которая также имеет трехкомпонентный вид. В рамках аддитивной кварковой модели глубоконеупругого рассеяния адронов получено указание на существование **нового эффекта** – обрезания спектра генерации нейтронов при энергии ~ 1 ГэВ.

При исследовании и анализе пространственного распределения космогенных нейтронов автор, используя данные не только эксперимента LVD, участником которого являлся, но и других весьма непростых измерений, приходит к выводу, что на результаты сильное влияние оказывает

краевой эффект, так как характерные размеры почти всех установок сравнимы с пробегами нейтронов высоких энергий (выше 30 МэВ).

Крайне интересны подытоженные в диссертации А.С. Мальгина результаты многолетних подземных наблюдений на установке LVD сезонных вариаций потока космогенных нейтронов, амплитуда которых оказалась превышающей амплитуду вариаций интенсивности мюонов (1.5%). Для объяснения этого различия автором предложено **новое явление** – сезонные вариации средней энергии мюонов с амплитудой ~10%, что с учетом вариаций интенсивности мюонов на глубине ~ 3.6 км в.э. приводит к сезонным изменениям потока нейтронов на 9%. Как и при анализе всех остальных характеристик космогенных нейтронов, автор не останавливается на констатации фактов, а дает обоснованное качественное объяснение наблюдаемого эффекта, связанного с сезонными изменениями температуры атмосферы. По-видимому, этот эффект имеет смысл добавить к анализу данных эксперимента DAMA/LIBRA, хотя наблюдаемая на установке LVD фаза вариаций нейтронов и отличается от фазы сигнала в указанном эксперименте более, чем на 40 дней.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

1. К сожалению, автор ничего не пишет о своей роли в создании экспериментальных установок и их многолетней эксплуатации.
2. Нет отдельной главы с описанием методик регистрации нейтронов и их характеристик, хотя отдельные интересные методические детали разбросаны по тексту во многих местах (стр. 40, 116, 119, 133, 153, 154).
3. В гл. 6 не упоминается, насколько условия эксперимента LVD в подземном зале (давление, влажность, температура) могут влиять на измерения вариаций нейтронов.

Приведенные замечания не умаляют значимости представленной диссертации и ни в коей мере не влияют на результаты и ее общую высокую оценку. Диссертация Мальгина А.С. представляет собой законченный научный труд. Основные защищаемые положения диссертации являются **новыми**, их **достоверность** не вызывает сомнений.

Основные результаты диссертации крайне важны для продолжения исследований в низкофоновых подземных лабораториях и найдут

применение как в проводящихся исследованиях, так и при проектировании новых экспериментов.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, **Мальгин Алексей Семенович**, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 "Физика атомного ядра и элементарных частиц".

Ведущий научный сотрудник лаборатории
наземной гамма астрономии отдела
космических наук НИИЯФ МГУ
доктор физ.-мат. наук

В.В. Просин

4 декабря 2018 г.

тел. +7 495 939 10 72

e-mail: v-prosin@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына - НИИЯФ МГУ, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.

Подпись В.В. Просина заверяю.

Директор НИИЯФ МГУ
профессор

М.И. Панасюк

4 декабря 2018 г.

Просин Василий Владимирович,
доктор физико-математических наук,
01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации
в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. ГАММА-ОБСЕРВАТОРИЯ TAIGA - СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ
Кузьмичев Л.А. ... Просин В.В. и др., TAIGA collaboration,
Ядерная физика, т. 81, № 4, с. 469-480, 2018
2. TAIGA-HiSCORE detection of the CATS-Lidar on the ISS as fast
moving point source, Porelli A., ... Prosin V., et al., *Proceedings of
Science*, 301, p. 754, 2017
3. TAIGA-HiSCORE: results from the first two operation
seasons., Tluczykont M.,... Prosin V., et al., *Proceedings of Science*,
v. 301, p. 759, 2017
4. Прототип установки TAIGA-HiSCORE: Статус и первые
результаты., Астапов И.И., ... Просин В.В. и др., *Известия РАН,
серия физическая*, том 81, № 4, с. 495-498, 2016
5. Установка Tunka-Grande - статус и перспективы., Монхоев
Р.Д.,... Просин В.В. и др., *Известия РАН, Серия физическая*, том 81,
№ 4, с. 504-506, 2016
6. Results and perspectives of cosmic ray mass composition studies with
EAS arrays in the Tunka Valley., Prosin V.V. et al., *Journal of Physics:
Conference Series*, v. 718, p. 052031, 2016
7. Results from Tunka-133 (5 years observation) and from the Tunka-
HiSCORE prototype., Prosin V.V. et al., *EPJ Web of Conferences*,
v. 121, p. 03004, 2016
8. The HiSCORE concept for gamma-ray and cosmic-ray astrophysics
beyond 10 TeV., Tluczykont Martin, Hampf Daniel, Horns
Dieter, Spitschan Dominik, Kuzmichev Leonid, Prosin Vasily, Spiering
Christian, Wischnewski Ralf,
Astroparticle Physics, v. 56, p. 42-53, 2014
9. Tunka-133: Results of 3 year operation., Prosin V.V. et al.
*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section
A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*,
756, с. 94-101, 2014
10. Tunka-25 Air Shower Cherenkov array: The main results., Budnev
N., ... Prosin V. et al., *Astroparticle Physics*, v. 50, с. 18-25, 2013