

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **27.12. 2018 г. № 9/46**

О присуждении **Мальгину Алексею Семеновичу**, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Космогенные нейтроны в низкофоновых подземных экспериментах» по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц, - принята к защите 20 сентября 2018 года, протокол № 7/44 диссертационным советом Д 002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), Министерства науки и высшего образования, 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства образования и науки России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Мальгин Алексей Семенович, 1946 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Изучение спектра мюонов космических лучей и их взаимодействий в области энергий до 10 ТэВ с помощью подземного сцинтилляционного детектора Артемовской научной станции ИЯИ АН СССР» защитил в 1986 году, в диссертационном совете, созданном на базе Института ядерных исследований АН СССР.

Мальгин А.С. работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), Министерства науки и высшего образования.

Диссертация выполнена в Лаборатории электронных методов детектирования нейтрино Отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), Министерства науки и высшего образования.

Официальные оппоненты:

1. Петрухин Анатолий Афанасьевич, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" (г. Москва), научно-образовательный центр НЕВОД, главный научный сотрудник;

2. Просин Василий Владимирович, доктор физико-математических наук, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ, г. Москва), Лаборатория наземной гамма-астрономии, ведущий научный сотрудник;

3. Старков Николай Иванович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН г. Москва), Лаборатория элементарных частиц, главный научный сотрудник;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр "Курчатовский Институт" (г. Москва) в своем положительном заключении, составленном Литвиновичем Евгением Александровичем (кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории физики нейтрино Отделения физики нейтрино НИЦ «Курчатовский институт»); подписанном Скорохватовым Михаилом Дмитриевичем (доктор физико-математических наук, Отделение физики нейтрино НИЦ «Курчатовский институт», руководитель Отделения); Стремоуховым Сергеем Юрьевичем (главный ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт») указала, что диссертация Мальгина Алексея Семеновича «Космогенные нейтроны в низкофоновых подземных экспериментах» соответствует требованиям

Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации «24» сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Соискатель имеет 269 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 26 работ, из них опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 17.

Работы соискателя, представленные в диссертации, посвящены исследованиям проникающей компоненты космических лучей. В статьях, опубликованных в российских и зарубежных журналах в период 2008 – 2018 г.г., отражены основные идеи и результаты установления характеристик космогенных нейтронов, полученные в подземных экспериментах LVD и LSD при непосредственном участии соискателя. Вклад соискателя в работы по измерению выхода нейтронов, энергетического спектра космогенных нейтронов и их пространственного распределения – определяющий. Персональный вклад автора в получение результатов диссертационной работы отражается в публикациях в журналах ЖЭТФ 2015, 2017, Ядерная Физика 2015, Physical Review C 2017.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Malgin Alexey. Phenomenology of muon-induced neutron yield // Phys. Rev. C. 2017. Vol. 96. P. 014605.
2. Мальгин А.С. Об энергетическом спектре космогенных нейтронов // ЖЭТФ. 2017. Т. 152. Вып. 5, с. 863.
3. Мальгин А.С. Сезонные модуляции энергии мюонов космических лучей под землей // ЖЭТФ. 2015. Т. 148. Вып. 2 (8). С.247 – 251.
4. Мальгин А.С. Характеристики нейтронов, образуемых мюонами в стандартном грунте // Яд. Физ. 2015. Т. 78. № 10. С. 889-893.
5. Агафонова Н.Ю., Мальгин А.С. Анализ экспериментальных данных по выходу нейтронов от мюонов // Яд. Физ. 2013. Т. 76. N. 5. С. 650-658.

6. Agafonova N. Yu., Malgin A. S. Universal formula for the muon-induced neutron yield // Phys. Rev. D. 2013. Vol. 87. P. 113013.
7. Агафонова Н.Ю., Ашихмин В.В., Добрынина Е.А., Еникеев Р.И., Мальгин А.С., Рязская О.Г., Шакирьянова И.Р., Якушев В.Ф. Эксперимент LVD: 25 лет работы // Яд. Физ. 2018 т. 81 №1, 85-94.
8. Агафонова Н.Ю., Ашихмин В.В., Дадыкин В.Л., Добрынина Е.А., Еникеев Р.И., Мальгин А.С., Рязская О.Г., Шакирьянова И.Р., Якушев В.Ф. и Коллаборация LVD. Сезонные вариации потока нейтронов, генерируемых мюонами, и фона естественной радиоактивности в 35 подземной Лаборатории Гран Сассо // Изв. РАН. Сер. Физ. 2017. Т. 81 №4. С. 551-554.
9. Агафонова Н.Ю., Бояркин В.В., Дадыкин В.Л., Добрынина Е.А., Еникеев Р.И., Мальгин А.С., Рясный В.Г., Рязская О.Г., Шакирьянова И.Р., Якушев В.Ф. и Коллаборация LVD. Анализ сезонных вариаций потока мюонов космических лучей и нейтронов, генерированных мюонами, в детекторе LVD // Изв. РАН Сер. Физ. 2011 Т. 75. №3. С. 456-459.
10. Агафонова Н.Ю., Бояркин В.В., Дадыкин В.Л., Добрынина Е.А., Еникеев Р.И., Кузнецов В.В., Мальгин А.С., Рязская О.Г., Рясный В.Г., Якушев В.Ф. (Коллаборация LVD) и Соболевский Н.М. Энергетический спектр нейтронов, генерируемых мюонами в подземном детекторе LVD // Изв. РАН Сер. Физ. 2009. Т. 73. №5. С. 666-667.
11. Мальгин А.С., Рязская О.Г. Нейтроны от мюонов под землей // Яд. Физ. 2008. Т. 71 № 10. С. 1800-1811.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации. Во всех отзывах сделан вывод о том, что работа является актуальной, содержит хорошо обоснованные новые результаты и полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Отмечается, что диссертация представляет собой законченное исследование и имеет высокую научную значимость для физики атомного ядра и элементарных частиц. Она в полной мере является научной квалифицированной работой, в которой на основании проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований решается комплекс важных научных проблем в области физики элементарных частиц. Полученные в диссертации выводы о свойствах космогенных нейтронов являются новыми, они базируются практически на всем имеющемся экспериментальном материале и результатах обширного круга публикаций, что обеспечивает обоснованность и достоверность положений диссертации. Указывается, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, а ее результаты важны для продолжения исследований в низкофонных подземных лабораториях и найдут применение как в проводящихся экспериментах, так и при проектировании новых.

Отзывы содержат критические замечания:

1. Автором утверждается, что точность универсальной формулы для выхода космогенных нейтронов не хуже 20%. Точность определяется погрешностями измерений выхода, которые, в свою очередь, зависят от точности установления средней энергии мюонов. Поскольку на разных глубинах и в разных экспериментах эта точность различна, для дальнейших практических применений было бы полезно привести точность универсальной формулы как функцию средней энергии мюонов (глубины подземной лаборатории).

2. В работе обсуждаются измерения энергетического спектра космогенных нейтронов по протонам отдачи при помощи секционированного, жидко-сцинтилляционного детектора LVD. Измерения энергии в жидких сцинтилляторах требуют учета квенчинг-эффекта для протонов. В работе, однако, не сказано, как определялся квенчинг протонов в сцинтилляторе LVD.

3. В числе крупномасштабных подземных установок, наблюдавших сезонные вариации потока космических мюонов (стр. 151), можно было бы упомянуть также детектор GERDA в лаборатории Гран-Сассо (Италия).

4. При рассмотрении эффекта сезонных вариаций потока космогенных нейтронов разностным методом для относительной амплитуды вариаций

получено $(\delta N_n/N_n^0) = 0.077 \pm 0.002$ (стат.) ± 0.016 (сист.). В оценке точности измерений доминирует систематическая погрешность, однако ее источники в работе не указаны.

5. Автор не отражает своей роли в создании экспериментальных установок и их многолетней эксплуатации.

6. В диссертации не представлено цельное описание методик регистрации нейтронов и определения их характеристик, хотя имеются отдельные интересные методические детали, разбросанные по тексту (стр. 40, 116, 119, 133, 153, 154).

7. В гл. 6 не упоминается, насколько условия эксперимента LVD в подземном зале (давление, влажность, температура) могут влиять на измерения вариаций нейтронов.

8. При оценке количества генерированных космогенных нейтронов используются довольно значительные энергии мюонов, превышающие 10 ГэВ. В то же время в спектре мюонов на любой глубине присутствуют частицы с энергией порядка сотен МэВ и менее. Здесь не применимо приближение тонкой мишени, как при больших энергиях. В то же время мюоны низких энергий могут приводить к появлению нейтронов с энергией десятки кэВ, что создаёт фон в экспериментах по прямому поиску галактических WIMP'ов, таких, как DAMA, NEWSdm и других. Защиты от таких мюонов не существует, поэтому их учёт важен.

9. Приведенный на стр. 62 рисунок 1.7 не может являться доказательством хорошего согласия результатов, полученных по универсальной формуле, с экспериментальными данными. Для этого следует использовать график, по оси абсцисс которого должна откладываться глубина стандартного грунта, а по оси ординат – результаты измерений и расчетов с учетом соответствующих погрешностей и неопределенностей. При этом расчет должен быть независимым, без использования данных эксперимента.

10. Утверждение автора о точности не хуже 20% полученного им выражения для выхода нейтронов (универсальная формула) противоречит результатам

моделирования, которое свидетельствует о том, что выход нейтронов для близких по атомной массе веществ может отличаться в несколько раз.

11. При обсуждении вопроса о величинах средней энергии мюонов в подземных лабораториях автор не указывает результатов измерения этой величины в эксперименте NUSEX на глубине 5000 м в.э..

12. При рассмотрении энергетического спектра космогенных нейтронов остается непонятным, почему спектр ограничивается сверху величиной 1 ГэВ. Говорит ли это о том, что нейтроны больших энергий не генерируются вообще или их вклад в нейтронный фон пренебрежимо мал? Это противоречит расчетам спектра космогенных нейтронов методом Монте-Карло, которые не демонстрируют резкого изменения формы в районе энергий выше 1 ГэВ.

13. В диссертации не приводится сравнение аппроксимации пространственного распределения в виде $R^{-2.3}$ с хорошо статистически обеспеченными данными KamLAND (рис. 5.9а на стр. 145).

14. Утверждение автора диссертации об обнаружении нового эффекта в физике атмосферных мюонов (выводы к 6 главе, стр. 170) – сезонных вариациях средней энергии мюонов на поверхности Земли в ТэВ-ной области (а также наклона спектра) – следовало бы подкрепить детальными расчетами на современной базе.

15. На многих рисунках, на которых приводятся результаты расчетов и даже измерений, не указаны погрешности.

16. Формула для оценки средней энергии мюонов на некоторой глубине грунта отсутствует в указанной работе D.E. Groom et al., *Atom. Data and Nucl. Data Tables* 78 (2001) 183.

17. На стр. 149 увеличение вероятности распада мюонов вследствие летнего расширения атмосферы называется барометрическим эффектом, в то время как оно является температурным эффектом.

18. Имеется несоответствие указанных в тексте интервалов наблюдений вариаций нейтронов в эксперименте LVD: на стр. 154 и рис. 6.4 а, б указан интервал 16 лет, в то время как в выводах к главе 6 на стр. 171 фигурирует интервал 15 лет.

19. Текст содержит стилистические погрешности (например, стр. 43, 127) и жаргонизмы (например, на стр. 160), а также ряд опечаток (например, мнтервал – интервал, июонов - мюонов).

Во всех отзывах отмечается, что указанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организацией обосновывается их высокой научной квалификацией, полученными ими научными результатами мирового уровня и многолетним опытом научных исследований по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что совокупность разработанных в диссертации феноменологических и теоретических положений можно квалифицировать как крупное научное достижение. На основании выполненных соискателем исследований:

- 1) выявлена связь выхода космогенных нейтронов с энергопотерями ультрарелятивистских мюонов, позволившая определить зависимость величины выхода от средней энергии потока мюонов и массового числа вещества в виде «универсальной формулы»;
- 2) разработана новая концепция образования космогенных нейтронов, позволяющая в рамках аддитивной кварковой модели объяснить особенности энергетического спектра и пространственного распределения нейтронов;
- 3) доказано наличие сезонных вариаций потока космогенных нейтронов с амплитудой, превышающей амплитуду вариаций атмосферных ультрарелятивистских мюонов с энергией выше 1 ТэВ;
- 4) предложена гипотеза сезонных вариаций средней энергии атмосферных мюонов, объясняющая амплитуду вариаций потока космогенных нейтронов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- 1) применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс существующих в подземной физике базовых методов и результатов исследований проникающей компоненты космических лучей и продуктов их взаимодействий с веществом;

- 2) изложены основные теоретические положения процессов генерации космогенных нейтронов;
- 3) раскрыта их взаимосвязь с энергетическими, пространственными и временными характеристиками нейтронов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- 1) определены ранее не установленные зависимости генерации космогенных нейтронов от энергии мюонов и массового числа вещества, объясняющие экспериментальные данные и имеющиеся в них противоречия;
- 2) в виде конечных результатов (величина выхода, форма энергетических спектров и пространственного распределения) представлены указания по совершенствованию программных пакетов для расчета характеристик космогенных нейтронов методом Монте-Карло;
- 3) результаты могут быть использованы при разработке новых подземных экспериментов таких как, например, NEWSdm и HALO+1kt.

Оценка достоверности результатов выявила:

- 1) теоретические положения выдвинуты на основании известных, проверяемых данных и фактов, вследствие чего результаты анализа согласуются с опубликованными экспериментальными данными;
- 2) основные предложенные идеи, описывающие генерацию космогенных нейтронов, базируются на установленных свойствах взаимодействий ультрарелятивистских мюонов с учетом характеристик развития адронных и электромагнитных ливней и образования в них нейтронов;

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

- автор непосредственно участвовал в создании детекторов и получении экспериментальных данных по теме диссертации в нескольких подземных экспериментах (Коллапс, LSD, LVD);
- автор принимал непосредственное участие в обработке и интерпретации экспериментальных данных этих установок;
- автор является соавтором всех работ, опубликованных по теме диссертации этими экспериментами;

- автором проанализированы все имеющиеся в литературе на 2018 год экспериментальные данные по характеристикам космогенных нейтронов;
- автором предложены и обоснованы: универсальная формула для вычисления величины выхода космогенных нейтронов; механизм генерации космогенных нейтронов и выражения, описывающие спектр генерации и спектр изолированных нейтронов, а также пространственное распределение;
- автор участвовал в исследовании сезонных вариаций космогенных нейтронов в эксперименте LVD; для объяснения результатов измерений им предложен новый эффект в физике атмосферных мюонов – эффект сезонных вариаций средней энергии потока высокоэнергетических мюонов;
- непосредственно автором и при его участии подготовлены основные публикации по теме диссертации.

На заседании 27 декабря 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Мальгину А. С. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **23** человек, из них **9** докторов наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц, участвовавших в заседании, из **26** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за **23**, против -**нет**, недействительных бюллетеней- **нет**.

Председатель

диссертационного совета Д 002.119.01

д.ф.-м.н., академик РАН

_____ Рубаков В.А.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.119.01

д.ф.-м.н., член-корр. РАН

_____ Троицкий С.В.

27.12.2018г.

МП