

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Агафоновой Натальи Юрьевны

на тему: «Изучение мюонов космических лучей и нейтронов, генерированных
ими под землей в детекторе LVD»

по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация посвящена исследованию глубокопроникающей мюонной компоненты космических лучей и измерению основных характеристик нейтронов, образуемых мюонами в различных веществах под землей. Работа выполнена на основе анализа статистики, набранной на детекторе LVD, расположенном в лаборатории Гран Сассо на глубине 3650 м.в.э.

В последние годы для решения актуальных задач нейтринной физики и астрофизики введен в эксплуатацию целый ряд подземных детекторов с большим чувствительным объемом вещества мишени. Необходимость в расположении таких установок в глубоких подземных шахтах продиктована требованиями защиты от фона космического излучения при регистрации редких полезных событий в экспериментах по поиску нейтринных осцилляций, определению потоков солнечных нейтрино, поиску частиц темной материи и двойного безнейтринного β -распада. Но даже на больших глубинах расположения установок, высокоэнергичные мюоны достигают детекторов и взаимодействуют с окружающим веществом. Среди продуктов взаимодействия мюонов особую роль играют нейтроны, взаимодействия которых способны имитировать сигнатуры редких процессов в довольно широкой области энергий и, таким образом, являться трудноустраняемым источником фона. Несмотря на длительную историю изучения нейтронных фонов в различных экспериментах,

полученные результаты не имеют однозначной интерпретации ввиду больших ошибок измерений. Представленная диссертация в значительной степени восполняет пробел в измерениях основных характеристик нейтронов, образуемых мюонами высоких энергий и создающих фон в низкофоновых подземных экспериментах. Полученные в диссертации результаты в значительной степени расширяют набор данных для уточнения закономерностей генерации нейтронов мюонами и позволяют повысить точность определения фона в низкофоновых экспериментах по поиску редких событий.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка цитируемой литературы, списка сокращений и обозначений, списка рисунков и списка публикаций автора по теме диссертации. Изложение содержания диссертации очень логично и убедительно. Представленный в диссертации материал удачно сочетает в себе методические разработки автора, процедуру анализа событий на установке LVD и сравнение результатов работы с данными других экспериментов, полученных в подземных лабораториях.

Во **введении** формулируется цель и основные задачи исследования. В **первой главе**, наряду с описанием детектора LVD, сделано заключение о соответствии физических параметров установки задачам, решаемым в диссертационной работе. Во **второй главе** очень подробно описана методика реконструкции мюонных событий и анализируются характеристики мюонов. Исследованы кратность мюонных групп, угловая зависимость мюонных событиях, кривая раздвижения. В **третьей главе** детально описана процедура и результаты определения зарядового отношения потоков мюонов. **Четвертая глава** содержит результаты по основным измеренным характеристикам нейтронов от мюонов. В **заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы.

Актуальность проведенного исследования определяется повышенным интересом к поиску редких физических процессов за рамками Стандартной модели, которые осуществляются в низкофоновых подземных лабораториях во всем мире. Залогом успеха новых экспериментов является надежная защита и корректный учет фона, который присутствует даже на больших глубинах под землей.

Новизна и значимость результатов исследования подтверждается тем, что ряд методических и экспериментальных результатов автора диссертации получены впервые. **К таким основным результатам диссертационной работы можно отнести следующие:**

Разработку методов определения характеристик мюонных потоков на установке LVD на глубине 3300 м.в.э. и определение углового распределения мюонов, распределения мюонных групп по кратности, кривой раздвижения, зарядового состава мюонов.

Разработку метода и определение величины генерации нейтронов, образуемых мюонами со средней энергией 280 ГэВ в железе.

Определение дифференциального спектра генерации нейтронов мюонами в диапазоне энергий нейтронов 30 – 450 МэВ.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что ее результаты могут быть использованы как при анализе результатов других экспериментов, проводимых и планируемых в низкофоновых подземных лабораториях, так и для выявления фундаментальных закономерностей процессов генерации нейтронов мюонами в диапазоне энергий от десятков до сотен МэВ.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, базируется на материалах научных работ автора, опубликованных в реферируемых отечественных и зарубежных изданиях. Автором

опубликованы 22 работы по материалам диссертации. в числе которых 4 статьи в международных рецензируемых журналах, 7 статей в российских рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 9 статей в материалах международных научных конференций и 2 препринта. Результаты диссертации неоднократно докладывались автором на различных конференциях как в России, так и за рубежом, а также представлялись на научных семинарах.

В диссертации можно отметить и некоторые недостатки, например,

- нет однозначности в определении глубины расположения установки LVD: на страницах 6 и 101 указана глубина 3300 м в.э., в то время как на странице 47 – 3650 м в.э.;

- имеются нарушения порядка упоминания рисунков по тексту диссертации: на страницах 91 – 92 за Рис. 4. 16 следует Рис. 4.18, и только на странице 93 – Рис. 4.17.

Общая оценка работы

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертация Агафоновой Н.Ю. является законченной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Диссертация вносит существенный вклад в развитие новых методов исследования мюонов космических лучей и нейтронов, генерированных ими под землей и открывает новые возможности в изучении редких физических процессов за рамками Стандартной модели в низкофоновых подземных экспериментах.

Результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых российских и зарубежных журналах, неоднократно докладывались автором на российских и международных конференциях.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих исследования в области физики высоких и сверхвысоких энергий, а также нейтронной физики.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа 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 кандидата наук, а ее автор, **Агафонова Наталья Юрьевна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,

Заведующий Отделом космических излучений ФИАН,
главный научный сотрудник ФИАН,
доктор физико-математических наук

Рябов В.А.

05.03.2015 г.

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН
Тел. 8 (499) 132-42-95, E-mail: ryabov@x4u.lebedev.ru

Подпись Рябова В.А. заверяю,
и.о. Ученого секретаря ФИАН,
доктор физико-математических наук

Богачев С.А.

Рябов Владимир Алексеевич,

Заведующий Отделом космических излучений ФИАН,

главный научный сотрудник ФИАН,

доктор физико-математических наук (01.04.23)

Основные публикации по теме защиты:

1. Adamson P., Andreopoulos C., Arms K.E.,..., Ryabov V.A. et al. // Search for muon-neutrino to electron-neutrino transitions in MINOS // Phys.Rev.Lett., 2009, vol.103, P.261802; arXiv:0909.4996 [hep-ex];
2. Adamson P., Andreopoulos C., Arms K.E.,..., Ryabov V.A. et al. // Observation of muon intensity variations by season with the MINOS far detector // Phys. Rev. D, 2010, vol. 81, P. 012001; arXiv:0909.4012 [hep-ex];
3. Adamson P., Andreopoulos C., Auty D.J.,..., Ryabov V.A. et al. // Search for sterile neutrino mixing in the MINOS long-baseline experiment // Phys. Rev. D, 2010, vol. 81, P. 052004; arXiv:1001.0336 [hep-ex];
4. Adamson P., Andreopoulos C., Arms K.E.,..., Ryabov V.A. et al. // Neutrino and antineutrino inclusive charged-current cross section measurements with the MINOS near detector // Phys. Rev. D, 2010, vol. 81, P. 072002; arXiv:0910.2201 [hep-ex];
5. Adamson P., Andreopoulos C., Auty D.J.,..., Ryabov V.A. et al. // New constraints on muon-neutrino to electron-neutrino transitions in MINOS // Phys. Rev. D, 2010, vol. 82, P. 051102; arXiv:1006.0996 [hep-ex];
6. Adamson P., Auty D.J., Ayres D.S.,..., Ryabov V.A. et al. // A search for Lorentz invariance and CPT violation with the MINOS far detector // Phys.Rev.Lett., 2010, vol. 105, P. 151601; arXiv:1007.2791 [hep-ex];
7. Adamson P., Andreopoulos C., P., Ayres D.S. ..., Ryabov V.A. et al. // Observation in the MINOS far detector of the shadowing of cosmic rays by the sun and moon // Astroparticle Physics, 2011, vol. 34, pp. 457 - 466 (Issue 6, January); also in arXiv:1008.1719 and MINOS-doc-4765;
8. Adamson P., Andreopoulos C., Auty D.J.,..., Ryabov V.A. et al. // Measurement of the underground atmospheric muon charge ratio using the MINOS near detector // Phys.Rev. D, 2011, vol. 83., No. 3, p. 032011 arXiv:1012.3391;
9. Gusev G.A., Chechin V.A., Lomonosov B.N., Polukhina N.G., and Ryabov V.A. // Design of the LORD Experiment and Perspectives of Ultrahigh-Energy Particles Observation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2012, v.662, pp. 99 – 102;

10. Gusev G.A., Chechin V.A., Lomonosov B.N., and Ryabov V.A. // Targets and radio detectors in far-space region for registration of ultrahigh-energy cosmic rays and neutrino // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2012, v.662, pp. 103 – 105;
11. Gurevich A.V., Antonova V. P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // Strong flux of low-energy neutrons produced by thunderstorms // Physical Review Letters, 2012, vol. 108, p.125001;
12. Рябов В.А. // Космические нейтрино сверхвысоких энергий //Актуальные проблемы внегалактической астрономии, XXIX конференция, Пущино, 17 – 19 апреля 2012 г.;
13. Gusev G.A., Chechin V.A., Ryabov V.A. // Lunar Space Missions for Ultrahigh-energy Cosmic Rays and Neutrinos Observation // AIP Conf. Proc. 1535, 37 (2013);
14. Agafonov A.V., Bagulya A.V., Dalkarov O.D., Negodaev M.A, Oginov A.V., Rusetskiy A.S., Ryabov V.A., Shpakov K.V. // Observation of neutron bursts produced by laboratory high-voltage atmospheric discharge // Physical Review Letters, 2013, Vol. 111, p.115003;
15. Мукашев К.М., Рябов В.А., Чубенко А.П. // Нейтронная физика в исследованиях космических лучей // Монография, Алматы, 2013, 267 с., ISBN 978-601-298-032-5, Отпечатано в типографии «Улагат» издательства КазНПУ им. Абая, Тираж 500 экз.;