

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **13.02.2025** г. № **24/2**

О присуждении **Добрыниной Екатерине Анатольевне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование вариаций гамма-фона с помощью сцинтилляционного детектора LVD» по специальности 1.3.15. – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» принята к защите 14 ноября 2024 г., протокол № 20/13, диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель Добрынина Екатерина Анатольевна 1974 года рождения. В 2001 году соискатель окончила Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Решением Государственной аттестационной комиссии от 22 января 2001 присуждена квалификация Физик по специальности «Физика» (диплом ДВС 0732345). С 16.04.2024г. была прикреплена к аспирантуре ИЯИ РАН по специальности 1.3.15. - Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, для сдачи кандидатских экзаменов. В настоящее время работает в должности научного сотрудника отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики ИЯИ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, в отделе лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Агафонова Наталья Юрьевна, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

Дербин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение “Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова” Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", отделение нейтронных исследований, отдел полупроводниковых ядерных детекторов, заведующий отделом.

Рябов Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, заместитель директора по научной работе.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна – в своем положительном заключении, подписанном Якушевым Евгением Александровичем, доктором физико-математических наук, директором ЛЯП ОИЯИ, и Смирновым Олегом Юрьевичем доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории ядерных проблем им. В. П. Желепова, и утвержденным директором ОИЯИ, доктором физико-математических наук, академиком РАН Трубниковым Григорием Владимировичем,

указала, что работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Соискатель имеет 55 опубликованных научных работ и 15 работ по теме диссертации, 13 из которых опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК, индексируемых Web of Science и/или Scopus.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Содержание опубликованных работ полностью соответствует теме диссертации.

Список основных работ по результатам диссертационного исследования:

1. Изучение вариаций концентрации радона под землей с помощью установки / Агафонова Н.Ю., Алексеев В.А., Добрынина Е.А. [и др.] // Препринт ИЯИ РАН – 2001. – № 1071/2001.
2. Сезонные вариации потока нейтронов, генерируемых мюонами, и фона естественной радиоактивности в подземной Лаборатории Гран Сассо / Н.Ю. Агафонова, В.В. Ашихмин, В.Л. Дадыкин, Е.А. Добрынина, Р.И. Еникеев, А.С. Мальгин, О.Г. Рязская, И.Р. Шакирьянова, В.Ф. Якушев и Коллаборация LVD // Известия РАН. Сер. Физ. – 2017. – Т.81, №4. – С. 551-554. DOI: 10.7868/S0367676517040032
3. Эксперимент LVD: 25 лет работы / Н.Ю. Агафонова, В.В. Ашихмин, Е.А. Добрынина, Р.И. Еникеев, А.С. Мальгин, О.Г. Рязская, И.Р. Шакирьянова, В.Ф. Якушев // Ядерная Физика – 2018. – Т. 81, №. – С. 85-94. DOI: 10.7868/S0044002718010038
4. Изучение вариаций низкоэнергетического фона с помощью подземного эксперимента LVD / Н.Ю. Агафонова, В. В. Ашихмин, Е. А. Добрынина, Р. И. Еникеев, А. С. Мальгин, К. Р. Рудаков, О. Г. Рязская, И. Р. Шакирьянова, В. Ф. Якушев // Известия РАН Сер. Физ. – 2019. – Т. 83, № 5. – с. 673-675. DOI: 10.1134/S0367676519050041
5. Variations of Atmospheric Muons and Background Measured with Large Volume Detector / N. Yu. Agafonova, V.V. Ashikhmin, E.A. Dobrynina, R.I. Enikeev, N.A. Filimonova, O.G. Ryazhskaya, I.R. Shakyrianova, V.F. Yakushev (on behalf of the LVD Collaboration) // Physics of Atomic Nuclei. – 2021. – V. 84, No. 6. – P. 1065-1069. DOI: 10.1134/S1063778821130019

6. Отклик детектора LVD на землетрясения в центральной Италии / Н. Ю. Агафонова, В. В. Ашихмин, Е. А. Добрынина, Р. И. Еникеев, А. С. Мальгин, О. Г. Рязская, Н.А. Филимонова, И.Р. Шакирьянова, В.Ф. Якушев и коллаборация LVD // Известия РАН. Сер. Физ. – 2021. – Т.85, N11. – С. 1661-1665. DOI: 10.31857/S036767652111003X
7. Analysis of Cosmogenic Neutron Characteristics and the Pulses Counting Rate Using ASD, LSD, and LVD Scintillation Detectors / N. Yu. Agafonova, M. Aglietta, P. Antonioli, V. V. Ashikhmin, G. Bari, G. Bruno, E. A. Dobrynina, R. I. Enikeev, W. Fulgione, P. Galeotti, M. Garbini, P. L. Ghia, P. Giusti, E. Kemp, A. S. Malgin, A. Molinario, R. Persiani, I. A. Pless, O. G. Ryazhskaya, G. Sartorelli, I. R. Shakiryanova, M. Selvi, G. C. Trincherо, C. F. Vigorito, V. F. Yakushev, and A. Zichichi // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2022. – V. 134, No. 4. – P. 449–458. DOI: 10.1134/S1063776122040124
8. Регистрация распадов радона с помощью нейтринного детектора LVD / Н.Ю. Агафонова, Е. А. Добрынина, Н. А. Филимонова (от имени коллаборации LVD) // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. – 2023. – Т. 78(1), – С. 2310202. DOI: 10.55959/MSU0579-9392.78.2310202
9. Влияние давления и вентиляции в экспериментальном зале на скорость счета фоновых событий детектора LVD / Н. Ю. Агафонова, В. В. Ашихмин, Е. А. Добрынина, Р. И. Еникеев, Н. А. Филимонова, И. Р. Шакирьянова, В. Ф. Якушев (от имени коллаборации LVD) // Известия РАН Сер. Физ. – 2023. – Т. 87, № 7. – С. 1045–1047. DOI: 10.31857/S0367676523701879
10. Long-term Analysis of the Energy Calibration of LVD Counters / N. Yu. Agafonova, V. V. Ashikhmin, E. A. Dobrynina, R. I. Enikeev, N. A. Filimonova, I. R. Shakiryanova, and V. F. Yakushev and LVD Collaboration. // Bull. of the Rus. Acad. of Sci.: Physics. – 2023. – V. 87, No. 7. – P. 1053–1055. DOI: 10.3103/S1062873823702404
11. Периодические вариации концентрации радона в подземной Лаборатории Гран Сассо, измеренные с помощью LVD / Н. Ю. Агафонова, Е. А. Добрынина, И. Р. Шакирьянова, Н. А. Филимонова // ЖЭТФ. – 2023. – Т. 164, вып. 3 (9). – С. 386–395. DOI: 10.31857/S0044451023090079

12. Lunar-Monthly Variances in the Background Gamma-Quanta Measured at the LVD / N. Yu. Agafonova, V. V. Ashikhmin, E. A. Dobrynina, R. I. Enikeev, N. A. Filimonova, I. R. Shakiryanova, and V. F. Yakushev (on behalf of the LVD Collaboration) // *Physics of Atomic Nuclei*. – 2023. – V. 86, No. 6. – P. 1014–1020. DOI: 10.1134/S1063778824010046

13. Частотно-временной анализ измерений радоновых выбросов в подземной лаборатории LNGS, измеренных детектором LVD / В.Ф. Якушев, Н.Ю. Агафонова, В.В. Ашихмин, Е.А. Добрынина, Р.И. Еникеев, Н.А. Филимонова, И.Р. Шакирьянова (и LVD Коллаборация) // *ЖЭТФ*. – 2024. – Т. 166, вып. 3(9). – С. 330–339. DOI: 10.31857/S0044451024090049.

14. Агафонова Н. Ю., Добрынина Е. А., Филимонова Н.А., Шакирьянова И.Р. Корреляционный анализ концентрации радона, измеренного по данным LVD, и данных давления в подземной лаборатории Гран Сассо (Италия), // *LIX Всероссийская конференция по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники: материалы конференции*. Москва, РУДН, 22–26 мая 2023 г. – Москва:РУДН, 2023. – 343 с.: ил. (ISBN 978-5-209-12214-2) стр. 108-113,

15. Н. Ю. Агафонова, В. В. Ашихмин, Е. А. Добрынина, С. В. Ингерман, О.Ю. Слуцкая, И. Р. Шакирьянова, В. Ф. Якушев (от имени коллаборации LVD) Корреляционный анализ между скоростью счета гамма-квантов на LVD от естественной радиоактивности и атмосферным давлением // *Physics of Atomic Nuclei*, - 2024. - V. 87, No. 6, - P. 732–739.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация содержит новые и важные физические экспериментальные результаты, имеющие большое научное значение и практическую ценность. Диссертация полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого научного уровня по близкой тематике.

В отзывах оппонентов и ведущей организации были высказаны следующие критические замечания и пожелания:

- Диссертация посвящена временному анализу сигналов со счетчиков LVD, было бы интересно увидеть фоновый амплитудный спектр сигналов отдельного счетчика (возможно, из специального измерения) и отклик счетчика на какой-нибудь калибровочный гамма-источник.

- Отмеченное в диссертации Монте-Карло моделирование фоновых событий в детекторе LVD от естественной радиоактивности грунта и материалов конструкции представлено скромным рисунком 2.3. Было бы интересно увидеть другие результаты симуляции, например, отмеченный выше спектр сигналов отдельного счетчика в сравнении с М-К результатом.

- При анализе временной последовательности значений интенсивности гамма-квантов, регистрируемых LVD, возможно, для сравнения с Фурье-анализом, было бы интересно использовать более широкий класс методов выделения периодического сигнала, таких, например, как построение периодограммы Ломба-Скаргла или метод эмпирического разложение по модам.

- Обнаруженный интересный эффект "несезонная сильная антикорреляция трендов изменения скорости счета гамма-квантов и атмосферного давления на масштабах порядка 3–4 месяцев" остался в диссертации без комментариев.

- В первой главе недостаточно ясно описано почему идентичные башни детектора LVD (T1, T2, T3) отличаются по полному темпу счета. Некоторые результаты приводятся только для одной башни, а некоторые для всех трех. С чем это связано?

- О связи выбросов во временных рядах скоростей счета гамма-квантов сказано только во введении хотелось бы увидеть отклик детектора LVD на сильные землетрясения в Италии в 2009 г. и 2016 г.

- Часть недостатков носят чисто оформительский характер, а именно, нет подписей к осям ординат на некоторых рисунках, например: рисунки 1.8, 1.9,

2.8, 3.4, 3.7, 3.9 и 3.12. На рисунках 2.11, 2.12 – отсутствуют единицы измерения. Было бы лучше, если рисунки 1.5, 1.10, 3.5, 3.6, 4.3 и 4.8 и подписи к ним находились бы на одной странице. В тексте диссертации используется десятичная точка вместо принятой в русскоязычной литературе запятой.

- На стр.4 диссертации указана глубина залегания детектора 3300 м в.э., на стр.6 указывается уже другая величина – 3600 м в.э., без объяснения причин, хотя обе оценки относятся к LVD. Толщина скальных пород зависит от угла падения мюонов, поэтому разница в оценках средней величины возможна, автору следовало бы сделать соответствующую оговорку.

- Общепринятым сокращение является “мкс”, не “мксек”.

- В качестве единицы измерения непериодических сигналов следует использовать обратные секунды или Бк для радиоактивных распадов, в диссертации же используются Гц (при этом в тексте иногда почему-то в англоязычном варианте- Hz), зарезервированные в системе СИ за периодическими процессами.

- В тексте присутствует жаргонный англицизм: “бин” гистограммы вместо “ячейка”.

В целом, диссертация написана четким и понятным языком, но не лишена небольшого количества опечаток, грамматических и стилистических ошибок. Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Соискатель Добрынина Е.А. ответила на заданные в ходе защиты вопросы и согласилась с высказанными замечаниями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан метод предварительной подготовки и представления данных эксперимента LVD по низкоэнергетическому ($E > 0.5$ МэВ) каналу регистрации. Получены данные, усредненной за час скорости счета гамма-квантов на LVD с относительной ошибкой $\sim 0.3\%$.

Создан пакет программ для выделения и построения временных рядов скорости счета гамма-квантов, регистрируемых LVD, включающий автоматический отбор счетчиков и графическое представление результатов.

Определены критерии для автоматического отбора счетчиков LVD. Выполнена обработка данных с 1992 по 2023 гг.

Предложен метод нахождения соотношения между увеличением скорости счета гамма-квантов на установке LVD и повышением концентрации радона в подземном зале. При концентрации радона в подземном помещении равной 20 Бк/м^3 часть постоянного фона на установке LVD, обусловленная радоном составляет $6.2 \pm 0.5\%$.

Получены суточные и недельные вариации концентрации радона в подземном экспериментальном зале установки LVD, связанные с режимом работы вентиляции и коррелирующие с рабочим временем сотрудников лаборатории Гран Сассо.

Найдены годовые (сезонные) вариации скорости счета гамма-квантов на LVD. За период с 2004 по 2021 годы амплитуда вариаций составила $\delta_y = (3.0 \pm 1.1)\%$, фаза $\phi_y = (7.5 \pm 0.5)$ мес., которая соответствует середине августа.

Получены характеристики лунно-месячных вариаций скорости счета гамма-квантов на LVD с периодом 29.5 суток. Максимум амплитуды вариаций $\delta_m = (0.8 \pm 0.15)\%$ приходится на 3–5 день после полнолуния.

Не найдено прямой связи между изменением величины атмосферного давления и изменением скорости счета гамма-квантов на LVD (на масштабах 1 час — 20 суток). Во время резких понижений давления не обнаружен задержанный пампинг-эффект для гамма-квантов (в вентилируемом помещении на высоте ~ 1000 м над уровнем моря при давлении 680 мм рт. ст.).

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены идеи и методики, применение которых в экспериментальных методах долгосрочных измерений скоростей счета гамма-квантов могут быть дополнительным фактором для понимания процессов тектонических изменений в сейсмоопасном регионе Италии. Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, с получением обладающих новизной результатов) использован метод наложения эпох и изучены вариации радона, газа, проникающего в лабораторию из микротрещин и грунтовых вод, связанные с

лунным и суточным движением, а также с вентиляцией и техногенной деятельностью людей. Исключение этих факторов позволит выявить выбросы радона, отвечающие за сейсмические явления и возможные предвестники землетрясений. Результаты диссертации представляют большой интерес для современных экспериментов, проводимых в низкофоновых подземных лабораториях.

Оценка достоверности результатов выявила, что: результаты диссертации получены с использованием различных методов обработки временных рядов для поиска вариаций скоростей счета гамма-квантов эксперимента LVD. Используются современные методы сбора и обработки исходной информации, представлены выборочные совокупности данных с обоснованием выбора критериев анализа. Достоверность также подтверждается публикациями результатов исследований в рецензируемых научных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, и входящих в перечень журналов ВАК.

Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на научных конференциях, а также научных семинарах.

Все результаты диссертации получены лично Добрыниной Е.А. или при ее непосредственном участии. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают личный вклад автора. Обработка и интерпретация экспериментальных данных проводилась лично автором. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами.

На заседании 13 февраля 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Добрыниной Екатерине Анатольевна ученую степень кандидата физико-математических наук за разработку программы для исследования вариаций скоростей счета гамма-квантов, регистрируемых в детекторе большого объема LVD и обнаружение их суточных, лунно-месячных и сезонных модуляций.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 19, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.163.01

доктор техн. наук, чл.-корр. РАН

_____ Кравчук Л.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.163.01

кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

13.02.2025 г.

М.П.