

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор ОИЯИ  
Трубников Г. В.

---

« 25 » декабря 2024 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**  
**Международная межправительственная организация**  
**Объединенный институт ядерных исследований**

на диссертационную работу Добрыниной Екатерины Анатольевны  
**«Исследование вариаций гамма-фона**  
**с помощью сцинтилляционного детектора LVD»**,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий

**Актуальность темы диссертации.** Изучение фона – это необходимая часть работы при разработке новых экспериментов. В диссертационной работе Добрыниной Е. А. рассмотрены возможные источники вариаций потоков гамма-квантов от дочерних ядер в цепи распадов радона в подземных экспериментах. Потоки гамма-квантов являются естественным внешним фоном для подземных установок, поэтому при поиске периодических сигналов вариации фоновых потоков могут имитировать искомый сигнал. Результаты определения параметров периодических вариаций концентрации радона также могут быть использованы для выделения аномальных повышений концентрации радона во время землетрясений.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы. Полный объем диссертации составляет 112 страниц машинописного текста и включает 55 рисунков и 11 таблиц.

**Введение** включает в себя краткий обзор проблем, с которыми сталкиваются экспериментаторы при работе по учёту фона в подземных экспериментах. Описаны основные источники фона под землёй. Представлены примеры связи скорости счета фоновых импульсов на установке LVD с региональными землетрясениями. Во введении определены цели и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, обосновывается актуальность проводимого исследования. Приведены выносимые на защиту положения и их научная и практическая значимость. Дана информация об апробации полученных результатов, сделанных по результатам работы публикациях, личном вкладе автора, структуре и объеме диссертационной работы.

**В первой главе** приведено описание Детектора Большого Объема LVD, созданного для поиска нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звездных ядер. Описан подземный зал и фоновые условия эксперимента. Представлен разработанный метод предварительной подготовки и представления экспериментальных данных LVD, а также найденные параметры для автоматического отбора счетчиков. Приведены примеры полученных временных рядов.

**Во второй главе** показана связь измеряемой скорости счета гамма-квантов на LVD с концентрацией радона под землей. Представлены обнаруженные суточные и недельные вариации скорости счета гамма-квантов. Приведены доказательства техногенного происхождения этих вариаций.

**Третья глава** посвящена поиску зависимости скорости счета гамма-квантов на установке LVD от температуры, влажности и давления в экспериментальном зале, а также от атмосферного давления. Приведены данные по скорости счета гамма-квантов на LVD и атмосферного давления за 18 лет.

**В четвертой главе** показаны результаты Фурье-анализа временных рядов скорости счета гамма-квантов на LVD. Приведены параметры найденных сезонных вариаций скорости счета гамма-квантов. Описаны два метода поиска лунно-месячных вариаций, связанных с гравитационными приливами, и представлены параметры этих вариаций.

**В заключении** даны основные выводы диссертации и обозначены планы дальнейшей работы.

**Основные положения** диссертационной работы состоят в следующем:

1. Разработан метод предварительной подготовки и представления данных эксперимента LVD по низкоэнергетическому ( $E > 0,5$  МэВ) каналу регистрации. Получены усредненные за час скорости счета гамма-квантов на LVD с относительной ошибкой  $\sim 0,3\%$ .
2. 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.
3. 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  $20 \text{ Бк/м}^3$  часть постоянного фона на установке LVD, обусловленная радоном, составляет  $6,2 \pm 0,5\%$ .
4. Получены суточные и недельные вариации концентрации радона в подземном экспериментальном зале установки LVD, связанные с режимом работы вентиляции и коррелирующие с расписанием рабочего времени сотрудников лаборатории Гран-Сассо.
5. 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  $\varphi_y = (7,5 \pm 0,5)$  мес. соответствует середине августа.
6. 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.
7. 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.).

**Научная новизна и практическая ценность работы.** В работе использованы данные уникальной установки – детектора LVD. Установка имеет большой объём и высокую чувствительность к гамма-квантам от дочерних ядер их цепи распадов радона, что позволяет получать результаты с большой точностью. Предложенные методы обработки данных дают возможность автоматизировать анализ больших объёмов данных и проводить непрерывное мониторингирование концентрации радона в подземном помещении, где расположен эксперимент.

**Научная и практическая значимость полученных результатов** состоит в том, что предложенные методы и рекомендации учёта низкоэнергичного фона могут быть использованы при создании будущих подземных экспериментов. Полученный набор данных по вариациям концентрации радона за длительный период может стать частью общей базы данных для изучения поведения радона, в частности, при поиске предвестников землетрясений.

**Личный вклад автора.** Все результаты, представленные в диссертации, получены лично автором либо при его непосредственном участии.

**Апробация результатов работы и публикации.** Основные результаты по теме диссертации изложены в 15 печатных изданиях, 13 из которых изданы в научных журналах, рекомендованных ВАК, индексируемых Web of Science и/или Scopus. Результаты диссертации неоднократно докладывались на конференциях.

#### **Замечания.**

1. В тексте диссертации используется десятичная точка вместо принятой в русскоязычной литературе запятой.
2. 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.

3. Общепринятым сокращение является “мкс”, не “мксек”.
4. 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.
5. Рис. 1.4, 1.8, 1.9, 2.8, 3.12 – отсутствует маркировка одной или обеих осей, рис.2.11, 2.12 – отсутствуют единицы измерения.
6. В тексте присутствует жаргонный англицизм: “бин” гистограммы вместо “ячейка”.

**Заключение.** Сделанные замечания большей частью относятся к оформлению либо к терминологии и не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертационная работа Добрыниной Е. А. является законченным научным исследованием и соответствует специальности «1.3.15 - Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Диссертация Добрыниной Е. А. «Исследование вариаций гамма-фона с помощью сцинтилляционного детектора LVD» удовлетворяет всем требованиям «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 его автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико- математических наук по специальности «1.3.15 - Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Результаты диссертации Добрыниной Е. А. были представлены, обсуждены и одобрены на научном семинаре Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований 27 ноября 2024 года.

Директор ЛЯП ОИЯИ

Доктор физико-математических наук Е.А.Якушев

Отзыв составил

ведущий научный сотрудник,

лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джеллепова,

доктор физико-математических наук О. Ю. Смирнов

Международная межправительственная организация

Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)

141980, Дубна, ул. Жолио Кюри 6, ЛЯП

e-mail: osmirnov@jinr.ru

Тел: +7(496)2163518

Подпись О. Ю. Смирнова удостоверяю,

Учёный секретарь

лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джеллепова И. В. Симоненко

Международная межправительственная организация

Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)

141980, Дубна, ул. Жолио Кюри 6, ЛЯП

e-mail: titkova@jinr.ru

Тел.: +7(496)2162431

### **Сведения о ведущей организации**

по защите диссертации Добрыниной Екатерина Анатольевны «Исследование вариаций гамма-фона с помощью сцинтилляционного детектора LVD» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований
Сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом	ОИЯИ
Ведомственная принадлежность	Правительство РФ
Почтовый индекс, адрес организации	141980, Российская Федерация, Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, д.6.
Телефон	Тел. (496) 216-50-59
Адрес электронной почты	post@jinr.ru
Веб-сайт	<a href="https://www.jinr.ru/">https://www.jinr.ru/</a>

Список основных публикаций работников организации по теме диссертации соискателя

в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

1. Смирнов О.Ю. S. Appel et al. Search for low-energy signals from fast radio bursts with Borexino detectors // The European Physical Journal C - Particles and Fields. 2022. Т. 82. № 3.

2. Смирнов О.Ю. P. Agnes et al. A study of events with photoelectronic emission in the Darksede-50 liquid argon time projection chamber // *Astroparticle Physics*. 2022. V. 140. P. 102704.
3. Смирнов О.Ю. P. Agnes et al. Long-term temporal stability of the Darksede-50 dark matter detector // *Journal of Instrumentation*. 2024. Т. 19. № 5. С. P05057.
4. Горнушкин Ю. А., Смирнов О.Ю., Наумов Д. JUNO sensitivity to low energy atmospheric neutrino spectra // *The European Physical Journal C - Particles and Fields*. 2021. Т. 81. № 10.
5. Гусев К.Н. Shevchik E.A., Zinatulina D.R., Belov V.V., Brudanin V.B. et al. Development of a scintillation muon shield for low-background experiment // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2024. Т. 21. № 2. С. 161-169.
6. Гусев К.Н., Клименко А.А. Gerda collaboration. Search for exotic physics in double- $\beta$  decays with GERDA phase II // *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. 2022. Т. 2022. № 12. С. 012.
7. Клименко А.А. Search for periodic modulations of the rate of double-  $\beta$  decay of MO 100 in the NEMO-3 detector // *Physical Review C*. 2021. Т. 104. № 6. С. A179.

Список удостоверяю,

Учёный секретарь

лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джелепова И. В. Симоненко

Международная межправительственная организация

Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)

141980, Дубна, ул. Жолио Кюри 6, ЛЯП

e-mail: titkova@jinr.ru

Тел.: +7(496)2162431