

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

Объединенного института  
ядерных исследований  
академик РАН В.А. Матвеев

---

«13» марта 2020 г.

### ОТЗЫВ

**ведущей организации «Объединенный институт ядерных исследований» (ОИЯИ) на диссертационную работу Текуевой Джамилы Ануаровны «Поиск 2К захвата  $^{124}\text{Xe}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.**

Поиск редких фундаментальных процессов и исследования в области физики нейтрино стоят на переднем крае современной физики атомного ядра и элементарных частиц. В частности, большое внимание со стороны большого числа экспериментальных групп всего мира приковано к поиску безнейтринного двойного бета-распада, что может позволить обнаружить нарушение сохранения лептонного числа и определить природу и массу загадочной частицы нейтрино. Поиск двойного К-захвата важен для ядерной физики – обнаружение данного процесса позволяет проверить правильность расчетов ядерных матричных элементов, знание которых необходимо для интерпретации результатов по поиску безнейтринной моды двойного бета-распада. Поэтому, актуальность исследований, описанных в диссертации Текуевой Д.А. не вызывает сомнений.

Экспериментальная установка, на которой выполнена данная работа расположена в Низкофоновой лаборатории Глубокого залегания филиале Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) института ядерных исследований на глубине 4900 м в.э., позволяющей производить поиск редких процессов при очень низком уровне фона, вызванного космическим излучением, что и было продемонстрировано диссертантом. Поиск 2К захвата в  $^{124}\text{Xe}$  проводится с помощью низкофонового медного пропорционального счетчика, окруженного пассивной защитой. К достоинствам данной работы можно отметить, уникальность используемой методики измерений и тот факт, что подобные нетривиальные исследования проводятся небольшим количеством сотрудников БНО. Также необходимо отметить, что данные исследования способствуют развитию экспериментальной базы БНО и помогают общему развитию БНО, являющейся самой

глубокой лабораторией в Европе и перспективным местом для исследования редких процессов.

Диссертация Текуевой изложена на 101 странице текста, содержит 50 рисунков, 6 таблиц и список цитируемой литературы из 89 наименований.

**Во введении** дается краткое описание двойного бета-распада и производится обоснование актуальности данной работы.

**В первой главе** кратко представлены основы теории двойного бета-распада, с описанием различных видов переходов.

**Во второй главе** приводится краткий обзор экспериментов по поиску двойного бета-распада.

**В третьей главе** приводится описание экспериментальной установки методов, используемых при измерениях, приводится анализ полученных данных и их интерпретация.

**В заключении** сформулированы основные выводы.

Важно отметить, что в работе было получено новое ограничение на период полураспада  $^{124}\text{Xe}$  на уровне  $7.7 \cdot 10^{21}$  лет, что являлось лучшим мировым результатом на момент публикации, также были произведены важные измерения по изучению наработки космогенного изотопа  $^{127}\text{Xe}$ , что в целом говорит о высоком уровне производимых работ.

Однако необходимо заметить, что диссертационная работа не лишена и большого числа неточностей и недостатков, которые влияют на уровень выполненной работы. Можно отметить большое число небрежностей в оформлении, опусок, несогласований и грамматических ошибок. Зачастую следует отметить излишнюю детализацию ненужных технических деталей, с другой стороны, некоторые моменты, термины и выводы недостаточно объяснены. Обзор экспериментов, приведенный во второй главе, не содержит самые последние данные и не является согласованным во времени. Так, к примеру, в обзоре эксперимента EXO приводится результат, полученный в 2014 году, хотя коллаборация в 2018 и 2019 году выпускала новые ограничения на период полураспада  $^{136}\text{Xe}$ . Подобные замечания можно отнести к обзорам экспериментов GERDA, KamLAND-Zen и CUORE. Вызывает недоумение выбор места для обзора эксперимента по поиску 2K захвата в  $^{78}\text{Kr}$  в центре второй главы, хотя гораздо логичнее было бы поместить его в конец второй главы, так как методика этого эксперимента схожа с работой выполняемой в диссертации. Многие детали, описываемые в параграфе 2.3 невозможно понять без обращения к последующим главам, поэтому их необходимо было либо опустить, либо объяснить. Вызывает недоумение и то, что положительный результат, полученный в эксперименте XENON 1T, практически не обсуждается. Особенно странно выглядит, что этот результат не упоминается в автореферате, хотя упоминаются результаты верхнего ограничения по периоду полураспада, полученного в эксперименте XMASS. Зачастую в тексте диссертации просто описывается совершенное действие, но не дается достаточного объяснения этого действия, так к примеру, в параграфе 3.4 не обосновывается почему были

смешаны образцы и почему выбрана именно такая пропорция. Описание используемых образцов недостаточно четко определено, возникают сложности в понимании того какой образец, что собой представляет. Также далее в параграфе 3.5 возникают новые образцы 7 и 8 которые не были упомянуты ранее и не объясняются. На странице 71 написано, что из таблицы (вероятно, таблица 6) следует, что наиболее вероятны два канала образования  $^{127}\text{Xe}$  – однако такой информации в таблицах нет, таблица содержит лишь информацию о содержании изотопов  $^{126}\text{Xe}$  и  $^{128}\text{Xe}$  из которых возможно образование  $^{127}\text{Xe}$ . Далее в параграфе 3.5.1 упоминается установка “Ковер-2”, желательно было бы сразу указать, что она находится на высоте 1700 м над уровнем моря (а не в подземной лаборатории, как можно неправильно понять) и дать ссылку на соответствующую статью. Далее, на странице 73 упомянут метод GANT4 без указания ссылки на него, вероятно имеется ввиду пакет для моделирования GEANT4, с помощью которого предлагается определить эффективность. Также на этой странице обсуждается эффективность регистрации счетчика событий. К сожалению, этот важный момент обсуждается в диссертации недостаточно. Крайне сложно оценить, насколько точна используемая в работе аппроксимация, какую зависимость от энергии она имеет, насколько она применима и каков ее вклад в систематическую погрешность получаемых результатов. Было ли проведено экспериментальное подтверждение полученной аппроксимации – из текста диссертации это нельзя понять. Приведенная ссылка на работу по изучению этой аппроксимации имеет только название и авторов, название же журнала не приводится. Далее на этой же странице указывается параметр  $t$  как время измерений, но его значение соответствует указанному ранее времени экспозиции. В связи с этим, и с недостаточным объяснением формулы 3.2 возникают вопросы в правильности определения сечения искомого процесса. В параграфе 3.7 сказано, что на рисунке 3.16 представлены результаты фитирования, однако на рисунке они не представлены. На странице 83 вызывает недоумение заявление, что пропорциональный счетчик был заполнен до максимального давления в 1.1 атм., хотя ранее было сказано, что счетчик был заполнен ксеноном до более высокого давления в 1.9 атм. Далее идет непонятное повторение информации уже приведенной в параграфе 3.4, также рисунки 3.10 и 3.20 выглядят идентичными и непонятно в чем различие информации приведенной в них. На рисунке 3.21 (первый этап измерений) область ожидаемых событий составляет 7.4 кэВ, на втором этапе она составляет 26 кэВ – непонятно почему такое различие и по какому критерию выбирается область интересов. На странице 85 в формуле 3.9, вероятно, есть опечатка, так как при подстановке числа событий  $N_{\text{eff}} = 2.4$  не получается приведенный результат (формула 3.10). Вероятно, в знаменателе должна быть величина, связанная с активностью исследуемого вещества, а не с числом событий. Также не понятно, насколько велики погрешности величин, используемых в формуле 3.9 и какое влияние, они оказывают на конечный результат. Было бы хорошо в диссертации более подробно описать используемый метод различения одно, двух и трехчленных событий и объяснить, как были получены эффективности их разделений.

Неправильная нумерация формул, рисунков и статей: на странице 32: рисунок 2.8 следует понимать как 2.9, а на странице 34 рисунок 2.9 имеется ввиду 2.10, на странице 57 рисунок 3.3 имеется ввиду 3.5. Неправильная ссылка на работу на странице 48: [12] следует

исправить на [11]. На странице 78 вероятно вместо ссылки на формулу 3.8 имеется ввиду формула 3.5.

Указанные замечания не снижают высокую оценку проделанной работы посвященной актуальным научным проблемам. Текст автореферата правильно отображает ее содержание. Результаты, представленные в диссертации опубликованы в научных рецензируемых журналах и докладывались на научных конференциях и семинарах. Диссертация Д.А.Текуевой представляет собой законченное научное исследование по весьма актуальной теме и отвечает всем требованиям ВАК, а ее автор Текуева Джамиля Ануаровна, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16.

Материалы диссертации заслушаны и одобрены на заседании ученого семинара по физике низких энергий и структуре атомного ядра в Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Дзелепова ОИЯИ 21 февраля 2020 года.

Директор ЛЯП ОИЯИ

Доктор физико-математических наук

В.А.Бедняков

Отзыв составил:

старший научный сотрудник ЛЯП ОИЯИ

кандидат физико-математических наук

А.В.Лубашевский

тел: +7 (49621)62678

e-mail: [lubashev@jinr.ru](mailto:lubashev@jinr.ru)

Сведения о ведущей организации:

Международная межправительственная организация

Объединенный институт ядерных исследований

Адрес организации:

141980, Российская федерация, Московская область., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6.

Тел.: +7 (49621) 65059

e-mail: [post@jinr.ru](mailto:post@jinr.ru)

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

- Improved limits on  $\beta^+$  EC and ECEC processes in  $^{74}\text{Se}$  - Barabash, A.S. et al. (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, А.А.Клименко, А.В.Рахимов, Н.И.Рухадзе, Ю.А.Шитов) Nucl.Phys. A996 (2020) 121697
- Development of methods for the preparation of radiopure  $^{82}\text{Se}$  sources for the SuperNEMO neutrinoless double-beta decay experiment, (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, В.Г.Егоров, Д.В.Караиванов, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, Н.А.Мирзаев, И.Б.Немченко, А.В.Рахимов, Н.И.Рухадзе, А.А.Смольников, В.В.Тимкин, В.И.Третьяк, Д.В.Философов, Ю.А.Шитов ), Radiochimica Acta, 108 , 2 , 87-97 (2020)
- Characterization of  $^{30}\text{ }^{76}\text{Ge}$  enriched Broad Energy Ge detectors for GERDA Phase II GERDA, GERDA collaboration (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников, М.В.Фомина и др.), Eur. Phys. J. C, 79, 978, 1-24, 2019
- Probing Majorana neutrinos with double-beta decay, GERDA collaboration (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников, М.В.Фомина и др.), Science, 365, 1445-1448, 2019
- GERDA results and the future perspectives for the neutrinoless double beta decay search using  $^{76}\text{Ge}$ , GERDA collaboration (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников, М.В.Фомина и др.), International Journal of Modern Physics A, 33, 9, 1843004, 1-35, 2018
- Upgrade for Phase II of the GERDA Experiment, GERDA collaboration (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников, М.В.Фомина и др.), The European Physical Journal C, ISSN:1434-6044, eISSN:1434-6052, 78, 388, 2018
- Improved Limit on Neutrinoless Double-beta Decay of  $^{76}\text{Ge}$  from GERDA Phase II, GERDA collaboration (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников, М.В.Фомина и др.), Physical Review Letters, 120, 132503, 2018
- Background-free search for neutrinoless double- $\beta$  decay of  $^{76}\text{Ge}$  with GERDA, GERDA collaboration (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников, М.В.Фомина и др.), Nature, 544, 7648, 2017
- The large enriched germanium experiment for neutrinoless double beta decay (LEGEND), GERDA/LEGEND collaboration (авторы ОИЯИ: В.Б.Бруданин, К.Н.Гусев, И.В.Житников, Д.Р.Зинатулина, А.А.Клименко, О.И.Кочетов, А.В.Лубашевский, И.Б.Немченко, Н.С.Румянцева, А.А.Смольников и др., AIP Conference Proceedings 1894, 020027 (2017), 1894, 020027, 1-8, 2017
- Measurement of the double-beta decay half-life and search for the neutrinoless double-beta decay of  $^{48}\text{Ca}$  with the NEMO-3 detector, (ОИЯИ: В.Б.Бруданин, Н.И.Рухадзе, др.) Physical Review D, 93, 112008, 2016