

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕНИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 02.07.2019 г. №560

О присуждении **Степаненко Юрию Юрьевичу**, гражданину Республики Беларусь, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы увеличения эффективности регистрации редкого распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ в эксперименте E391a» по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 30.04.2019 г., протокол заседания № 556, диссертационным советом Д 720.001.03, созданным на базе Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Степаненко Юрий Юрьевич, 1986 года рождения, в 2009 году окончил Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» по специальности «Компьютерное моделирование физических процессов». Освоил программу научно-педагогических кадров в аспирантуре Объединенного института ядерных исследований в период с 2009 по 2012 гг. по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Экзамены кандидатского минимума сданы, что подтверждается удостоверением № 03-2017, выданным ОИЯИ на основании подлинных протоколов о сдаче кандидатских экзаменов, хранящихся в архиве ОИЯИ.

В настоящее время работает в должности научного сотрудника Сектора элементарных частиц Лаборатории ядерных проблем имени В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований.

Диссертация выполнена в Лаборатории ядерных проблем имени В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель – **Русакович Николай Артемьевич**, доктор физико-математических наук, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем имени В.П. Джелепова, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Смирнова Лидия Николаевна, доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра Общей ядерной физики, Физический факультет, профессор;

Щегельский Валерий Андреевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константина» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Отделение физики высоких энергий, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования **«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, составленным Солдатовым Евгением Юрьевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом Отделения физики и технологий, подписанным Барбашиной Натальей Сергеевной, кандидатом физико-математических наук, и. о. директора Института ядерной физики и технологий, Кудряшовым Николаем Алексеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, председателем Совета по аттестации и подготовке научно-педагогических работников, заведующим кафедрой прикладной математики и утвержденным Нагорновым Олегом Викторовичем,

доктором физико-математических наук, профессором, первым проректором, заведующим кафедрой высшей математики института профессиональной подготовки, указала, что диссертационная работа посвящена разработке и созданию методик для эффективной обработки экспериментальных данных с установок, предназначенных для решения современных проблем физики частиц. Отмечается, что значимость выполненной работы определяется получением новых методических и физических результатов по измерению редкого СР-нарушающего распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ в эксперименте E391a. Работа является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью.

Доклад по материалам диссертации Степаненко Ю.Ю. был заслушан, обсужден и одобрен на семинаре Института ядерной физики и технологий (ИЯФиТ) НИЯУ МИФИ, протокол 06/195 июня 2019 г.

В качестве замечаний отмечено следующее:

1. Номера ссылок на источники в тексте начинаются с 10, а не с 1, как это принято.
2. В главе 3 уделено большое внимание способам подавления экспериментальных фонов, однако, не описано, как они в итоге оценивались в сигнальной области.
3. В главе 4 не уделено внимание возможной проблеме переобучения нейронной сети и тому, как решалась эта проблема в данной работе.
4. В главе 4 не показано насколько хорошо моделирование описывает данные для переменных, использовавшихся как входные в нейронную сеть.
5. На странице 84 два рисунка имеют номер 4.6, что делает неверным всю последующую нумерацию рисунков.
6. Можно отметить, что глава 5 перегружена информацией о том, как отличить генетическое программирование от метода генетических алгоритмов, при этом не раскрывает полностью саму суть данного вида программирования, не являющегося широко применимым в научном сообществе.

7. Автору следовало более аккуратно подойти к редактированию диссертации и избежать заметного числа опечаток.

В отзыве указано, что данные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Отмечено, что диссертация Степаненко Ю.Ю. является завершенным исследованием, выполненным на высоком научном уровне и свидетельствующим о высокой квалификации автора. Работа удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатской диссертации, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, 5 из которых изданы в рецензируемых научных изданиях рекомендованных ВАК и входят в базу данных Scopus и РИНЦ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. New method for the cuts threshold optimization in the E391 experiment: conception and current implementation / N. V. Maksimenko et. al. // Проблемы физики, математики и техники. – 2010. - №3. - P. 22–24.
2. Experimental study of the decay $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ / J.K. Ahn et al. (E391a collaboration) // Phys. Rev. D. – 2010. - Vol. 81. – P. 072004.
3. Method for reconstructing of direction of gamma quanta registered by the CsI calorimeter in E391 experiment / Kurilin A. S., Podolsky S. V., Stepanenko Yu. Yu. // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2011. - Vol. 8., No.1 - P. 46–49.
4. Новые методы анализа данных в эксперименте Е391 // Подольский С. В., Курилин А. С., Степаненко Ю. Ю. // Письма в ЭЧАЯ. - 2011. - Т. 8, №5(168) - С. 833-836.
5. Increase in the detection efficiency for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay in the E391 experiment / Stepanenko Yu. Yu., Podolsky S.V., Kurilin A. S. // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2017. - Vol. 14, No. 6 - P. 168–174.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

В отзыве **Смирновой Лидии Николаевны** говорится о том, что тема, разработанные методы и полученные на их основе результаты, представленные в диссертации, являются весьма актуальными и обладают научной новизной и значимостью. Отмечается, что: «Несомненным достижением диссертации является определение количественной величины увеличения чувствительности экспериментальной установки к выделению распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$, полученная путем проведения повторного анализа данных эксперимента E391a с применением разработанных доктором методов анализа. Это весьма затратная по вычислительным ресурсам процедура, и выделение таких ресурсов демонстрирует востребованность выполненных в работе программных разработок. Расчеты показали, что в результате применения методов и программ, описанных в диссертации, чувствительность эксперимента E391a увеличилась на 65%. К сожалению, условия коллaborации E391a не позволили опубликовать новое значение ограничения на величину верхней границы относительной вероятности распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$, но ясно, что оно является значимым».

Оппонент отмечает, что диссертация содержит достаточно полный обзор измерений явления СР-нарушения в разных типах распадов, написана литературным языком, практически не содержит опечаток.

В качестве замечаний отмечено следующее:

1. Используемый в диссертации символ с волной для антинейтрино в литературе обозначает суперпартнера нейтрино. Правильный символ содержит черту $\bar{\nu}$.
2. В тексте диссертации цитирование должно начинаться с 1, а не с ссылки 10, как это сделано.
3. В обзоре указана ссылка 13 по поиску распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ как экспериментально подтверждающая нарушение СР четности. Распад не обнаружен, значит нет и подтверждения.

4. Опечатка на странице 41, пропущена запятая на стр. 82.
5. Неполное описание переменных, используемых на рисунках в разделе 3.1.3. Например, на рис. 3.5 какая из переменных X_{COE} и X_{inc} относится к истинной и восстановленной координате, не указано.
6. В тексте отсутствует какое-либо обсуждение или пояснение результата, приведенного на рис. 4.10, не указана причина существенно несимметричного вида.

Указано, что данные замечания не снижают высокого качества проведенных исследований.

В отзыве **Щегельского Валерия Андреевича** говорится о том, что диссертация посвящена поиску редкого распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$, в частности методам увеличения эффективности его регистрации в эксперименте E391a. Экспериментальное наблюдение данного распада позволит измерить величину эффекта СР-нарушения и проверить ее согласованность с предсказаниями Стандартной Модели, что является актуальной задачей физики частиц. Оппонентом отмечается следующее: «Практическую значимость разработанных методик и новизну полученных результатов легко понять, если представить, что достигнута такая экономия затраченного времени работы ускорителя, человеческих и финансовых ресурсов. Результаты работы Ю.Ю. Степаненко и применение нейронных сетей и метода генетического программирования могут инициировать использование такого подхода в экспериментах по поиску долгоживущих нейтральных частиц (суперсимметричных, например) в экспериментах на БАК».

По диссертационной работе сделаны следующие замечания, которые не снижают качества проведенной работы:

1. Во второй главе не обошлось без жаргона (физический триггер) и незначительных пропусков: «Главный баррель ... предназначался для регистрации... распадов». Конечно, далее поясняется несколько раз, что речь идет об антисовпадениях по основному каналу, регистрируемому CsI-калориметром.

2. Хотелось бы увидеть описание процедуры расчета верхнего предела, тем более что в эксперименте КОТО его определение отличается от E391a.
3. Рис 4.5 показывает, что при большой статистике описание отклонения от среднего значения функцией Гаусса не является удовлетворительным. Я бы посоветовал рассмотреть вместо распределения Гаусса функцию Леви.

По мнению оппонентов, автор диссертационной работы заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией, большим опытом и достижениями в данной отрасли науки, а также наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность выполненной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан метод измерения угла попадания γ -квантов в главный CsI-калориметр установки E391a на основе использования обобщённо-регрессионной нейронной сети, который позволил получить новые эффективные переменные для отбора событий в анализе данных эксперимента: $\Delta\theta_{\gamma 1}$, $\Delta\theta_{\gamma 2}$ – разность между углом, восстановленным нейронной сетью и углом, полученным в предположении того, что инвариантная масса двух γ -квантов равна массе π^0 .

Предложена процедура восстановления вершины распада и инвариантной массы распавшейся частицы $X \rightarrow \gamma\gamma$ на основе информации о восстановленных углах попадания γ -квантов в калориметр установки. Впервые на данных эксперимента E391a были получены распределения по инвариантной массе распавшейся частицы $X \rightarrow \gamma\gamma$.

Использование новых переменных ($\Delta\theta_{\gamma 1}$, $\Delta\theta_{\gamma 2}$ и $MassNN$) в анализе данных второго сеанса набора данных (Run-2) эксперимента E391a позволило увеличить чувствительность установки к регистрации распада $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ на 35%.

Разработан метод автоматической оптимизации критериев отбора событий в эксперименте E391a, основанный на применении метода генетического программирования. В результате использования разработанной процедуры оптимизации, в анализе второго сеанса набора данных (Run-2) были получены новые значения ограничений величин, позволившие увеличить чувствительность установки E391a к распаду $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ на 10%.

Разработана и реализована схема нового анализа полной статистики эксперимента E391a, которая представляет собой интеграцию разработанных независимо друг от друга методов. В результате вычислений был получен новый оптимизированный набор ограничений величин для отбора событий $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$, позволивший получить увеличение чувствительности установки к распаду на 65% по сравнению с финальным анализом эксперимента E391a.

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

Разработанная процедура автоматической оптимизации критериев отбора событий на основе метода генетического программирования с успехом может быть применена в существующем эксперименте KOTO (J-PARC), который является продолжением эксперимента E391a и основан на той же методике отбора событий. Данный метод может быть полностью адаптирован под другие эксперименты, где необходимо решить задачу оптимизации или поиска наилучшего решения.

Разработанный метод измерения угла попадания γ -квантов в калориметр установки может быть использован в эксперименте KOTO (J-PARC), а также в других экспериментах, с подобной конфигурацией калориметра.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

При обучении и получении основных характеристик работы нейронной сети в методе восстановления угла попадания γ -квантов были использованы стандартные пакеты моделирования и обработки данных Geant4 и ROOT.

Достоверность метода автоматической оптимизации и полученного на его основе оптимизированного набора критериев отбора событий подтверждается

сравнительным анализом количества событий в различных областях сигнального графика для Монте-Карло моделирования фоновых процессов в эксперименте и непосредственно физических данных. Моделирование фоновых и сигнальных процессов было произведено в пакетах моделирования FLUKA и Geant4.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии в разработке, настройке, создании базы данных обучающих примеров и тестировании метода измерения угла попадания гамма-квантов в главный CsI-калориметр установки E391a на основе использования нейронной сети;

разработке методики восстановления массы распавшейся частицы $X \rightarrow \gamma\gamma$;

внедрении метода измерения угла попадания γ -квантов в калориметр в анализ данных эксперимента и его апробации;

участии в разработке метода автоматической оптимизации критериев отбора событий на основе использования генетического программирования и его апробации;

разработке и реализации процедуры нового анализа данных эксперимента E391a;

интеграции программных кодов метода автоматической оптимизации критериев отбора событий и программных модулей анализа данных эксперимента E391a;

обработке и интерпретации полученных данных;

подготовке научных публикаций по материалам выполненной работы.

На заседании 2 июля 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Степаненко Ю. Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав

совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Бруданин Виктор Борисович

Ученый секретарь
диссертационного совета



Карамышева Галина Анатольевна

2 июля 2019 г.

