

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор А.А. Федянин

« 27 » апреля 2020 года

Отзыв ведущей организации

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертацию Фомина Алексея Константиновича «Моделирование экспериментов с нейтронами и нейтрино в задачах фундаментальной физики на реакторах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа посвящена актуальным вопросам физики элементарных частиц в исследованиях с ультрахолодными нейтронами и реакторными антинейтрино. Методом математического моделирования проведен анализ экспериментов по изучению бета-распада нейтрона, поиску электрического дипольного момента нейтрона, поиску нейтрон-антинейтронных осцилляций, поиску стерильного нейтрино. Рассмотрены вопросы разработки новых высокоинтенсивных источников ультрахолодных нейтронов. В работе разработаны методы и подходы для создания моделей экспериментальных установок, которые затем использовались при проектировании и проведении измерений. Работа выполнена в лаборатории физики нейтрона НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ. В диссертации рассмотрены эксперименты на реакторах ИЛЛ (г. Гренобль), СМ-3 (г. Димитровград), создание источников УХН на реакторах ВВР-М и ПИК (г. Гатчина).

Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения. Она изложена на 208 страницах. Список литературы содержит 225 наименований.

Во введении приведены актуальность, цели и задачи, научная новизна диссертации. Указаны практическая значимость, положения выносимые на защиту, данные по апробации работы. Показан личный вклад автора.

Первая глава посвящена проблеме расхождения результатов экспериментов по измерению времени жизни нейтрона с использованием ультрахолодных нейтронов, которое возникло после завершения эксперимента ПИЯФ с гравитационной ловушкой. Произведен анализ предыдущих экспериментов, включающий неучтенные ранее факторы, в результате чего было устранено разногласие между экспериментальными результатами

и получено новое среднемировое время жизни нейтрона 880.0 ± 0.9 с. Новое значение дает лучшее согласие со Стандартной моделью и космологическими данными. Оно позволило обнаружить расхождение в результатах полученных пучковым методом и методом хранения, а также внесло вклад в величину реакторной антинейтринной аномалии.

Во второй главе приведен анализ эксперимента по измерению времени жизни нейтрона МАМВО I. Создана компьютерная модель эксперимента. Рассмотрен эффект квазиупругого рассеяния ультрахолодных нейтронов на поверхности жидкого фомблина, обнаруженный после проведения эксперимента. Получена поправка к результату эксперимента, после введения которой устраняется разногласие с результатом эксперимента с гравитационной ловушкой.

Глава 3 посвящена эксперименту по измерению времени жизни нейтрона с регистрацией неупруго рассеянных нейтронов. Разработана компьютерная модель эксперимента. Рассмотрены эффекты неполного вытекания из внутреннего объема во время чистки при работе с внешним объемом, нагрева нейтронов затворами и разной эффективности детектора тепловых нейтронов для разных объемов хранения. После внесения полученной суммарной поправки результат также находится в согласии с результатом эксперимента с гравитационной ловушкой.

В главе 4 рассмотрена актуальная проблема создания более производительных источников ультрахолодных нейтронов, так как точность современных измерений органичена статистикой. Создана компьютерная модель источника на основе сверхтекучего гелия. С ее помощью получено значение достижимой плотности ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М, которое на два порядка превышает плотность существующую на данный момент в мире.

Пятая глава посвящена эксперименту по измерению времени жизни нейтрона с большой гравитационной ловушкой. Разработана компьютерная модель установки и проведено подробное моделирование различных вариантов измерений. Расчеты с моделью использовались на всех стадиях создания установки и проведения эксперимента. Получен ряд систематических неопределенностей, который позволил заявить результат эксперимента с указанной точностью $881.5 \pm 0.7_{\text{стат}} \pm 0.6_{\text{сист}}$ с.

В главе 6 речь идет об эксперименте по поиску электрического дипольного момента с использованием хранения ультрахолодных нейтронов. Экспериментальная установка представляет собой двухкамерный магниторезонансный спектрометр. Для оценки систематического эффекта от токов утечки разработана компьютерная модель эксперимента. Было проведено моделирование измерений и получен систематический

эффект, который составляет $<10^{-26}$ е·см, что было учтено в опубликованном результате эксперимента $|d_n| < 5.5 \cdot 10^{-26}$ е·см (90% CL).

В седьмой главе говорится об эксперименте по поиску нейтрон-антинейтронных осцилляций. Впервые разработан проект эксперимента с ультрахолодными нейтронами. Создана компьютерная модель установки. Произведена оценка чувствительности эксперимента на разрабатываемом источнике ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М. Получено, что чувствительность существующего пучкового эксперимента может быть улучшена в 10-40 раз в зависимости от модели отражения нейтронов от стенок.

Глава 8 посвящена поиску стерильного нейтрино в эксперименте «Нейтрино-4» на реакторе СМ-3. Целью эксперимента является поиск осцилляций реакторных антинейтрино на расстояниях 6-12 м от активной зоны реактора. Разработана компьютерная модель детектора антинейтрино. Проведено моделирование различных вариантов модели и полномасштабного детектора в процессе развития эксперимента. Получен расчетный спектр мгновенных сигналов, регистрируемых детектором. Сравнение с экспериментом показало расхождение в области 3 МэВ. Так же продемонстрирован расчетный эффект при наличии осцилляций с использованием метода когерентного сложения результатов измерений.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы, благодарности. Работа поддержана грантами под руководством А.К. Фомина, а также грантами в которых А.К. Фомин был исполнителем.

К небольшим недостаткам работы можно отнести встречающиеся опечатки и слегка специализированное изложение материала в некоторых местах.

Текст автореферата правильно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации являются новыми и отражены в 33 публикациях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Материалы работы прошли апробацию на многочисленных всероссийских и международных конференциях. Личный вклад автора состоит в разработке программного обеспечения, подготовке и проведении моделирования, обработке, анализе, обобщении, публикации результатов. А.К. Фоминым в процессе этой работы зарегистрировано 7 программ для ЭВМ. Достоверность результатов работы обосновывается сравнением расчетов с экспериментальными данными. Практическая значимость диссертации состоит в том, что предложенные методы и подходы могут быть применены при разработке и моделировании новых экспериментов с ультрахолодными нейтронами и антинейтрино.

В целом работа посвящена актуальным научным проблемам и выполнена на высоком уровне. Полученные А.К. Фоминым результаты являются новыми и оригинальными.

Диссертация А.К. Фомина «Моделирование экспериментов с нейтронами и нейтрино в задачах фундаментальной физики на реакторах» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а её автор Алексей Константинович Фомин заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составил:

профессор кафедры теоретической физики

МГУ имени М.В. Ломоносова

А.И. Студеникин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,

Кафедра теоретической физики физического факультета МГУ

119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

E-mail: a-studenik@yandex.ru

телефон: +7 (495) 939-16-17, +7 (903) 751-74-57

Сведения о ведущей организации

<p>Полное и сокращенное наименование организации</p>	<p>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», МГУ имени М.В.Ломоносова</p>
<p>Место нахождения (город, область)</p>	<p>Москва</p>
<p>Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации в сети Internet (при наличии)</p>	<p>119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, телефон: +7 (495) 939-41-06, E-mail: unir@rector.msu.ru, сайт в сети Internet: www.msu.ru</p>
<p>Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющих отзыв, за последние 5 лет по теме диссертации</p>	<p>[1] С. Giunti, A.Studenikin, Neutrino electromagnetic interactions: A window to new physics, Rev. Mod. Phys. 87 (2015) 531. [2] A.Stankevich, A.Studenikin, Neutrino quantum decoherence engendered by neutrino radiative decay, Phys.Rev. D 101 (2020) 56004. [3] K.Kouzakov, A.Studenikin, Electromagnetic properties of massive neutrinos in low-energy elastic neutrino-electron scattering, Phys. Rev. D 95 (2017) no.5, 055013. [4] A.Grigoriev, A.Lokhov, A.Studenikin, A.Ternov, Spin light of neutrino in astrophysical environments, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, JCAP 11 (2017) 024. [5] P.Pustoshny, A.Studenikin, Neutrino spin and spin-flavour oscillations in transversal matter currents with standard and non-standard interactions, Phys. Rev. D 98 (2018) no.11, 113009. [6] A.Popov, A.Studenikin, Neutrino eigenstates and flavour, spin and spin-flavour oscillations in a constant magnetic field, Eur. Phys. J. C 79 (2019) no.2, 144.</p>

- [7] M.Cadeddu, C.Giunti, K.Kouzakov, Y.F.Li, A.Studenikin, Y.Y.Zhang, Neutrino charge radii from COHERENT elastic neutrino-nucleus scattering, **Phys. Rev. D** 98 (2018) 113010.
- [8] P.Kurashvili, K.Kouzakov, L.Chotorlishvili, A.Studenikin, Spin-flavor oscillations of ultra-high-energy cosmic neutrinos in the interstellar space: The role of neutrino magnetic moments, **Phys. Rev. D** 96 (2017)103017.
- [9] M.Cadeddu, F.Dordei, C.Giunti, K.Kouzakov, E.Picciau, A.Studenikin, Potentialities of a low-energy detector based on ^4He evaporation to observe atomic effects in coherent neutrino scattering and physics perspectives, **Phys. Rev. D** 100 (2019) no.7, 073014.
- [10] A.Studenikin et al, (IceCube-Gen2andJUNOColls.), Combined sensitivity to the neutrino mass ordering with JUNO, the IceCube Upgrade, and PINGU, **Phys. Rev. D** 101 (2020) no.3, 032006.