

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01  
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 **08.09.2022** г. № **10/83**

О присуждении Краснову Игорю Вячеславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Перспективы поиска новой физики в экспериментах на фиксированной мишени нового поколения» по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика» принята к защите 30 июня 2022 г., протокол № 8/81 диссертационным советом Д 002.119.01 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 образования и науки России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Краснов Игорь Вячеславович 1995 года рождения. В 2018 году соискатель окончил физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ). В 2018 г. соискатель И.В. Краснов поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), и обучается по настоящее время, по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика. В настоящее время работает в должности стажера-исследователя научно-образовательного центра ИЯИ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, в отделе теоретической физики.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Горбунов Дмитрий Сергеевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), отдел теоретической физики, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Высоцкий Михаил Иосифович**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук, лаборатория квантовой теории поля, высококвалифицированный главный научный сотрудник.

**Мелихов Дмитрий Игоревич**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова” Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, отдел экспериментальной физики высоких энергий, лаборатория тяжелых кварков и редких распадов, ведущий научный сотрудник  
-дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» в своем положительном заключении, подписанном Образцовым Владимиром Федоровичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Отделения экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, и утвержденном директором НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, доктором физико-математических наук, академиком РАН, Ивановым Сергеем Владиславовичем,

указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Краснов Игорь Вячеславович заслуживает присуждения ему

учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно. Список работ, по результатам диссертационного исследования:

1. Igor Krasnov. — «DUNE prospects in the search for sterile neutrinos». — В: Phys. Rev. D100.7 (2019), с. 075023. — arXiv: 1902.06099 [hep-ph] .
2. Dmitry Gorbunov, Igor Krasnov, Yury Kudenko, Sergey Suvorov. — «Heavy Neutral Leptons from kaon decays in the SHiP experiment». — В: Phys. Lett. B810 (2020), с. 135817. — arXiv: 2004.07974 [hep-ph] .
3. Dmitry Gorbunov, Igor Krasnov, Sergey Suvorov. — «Constraints on light scalars from PS191 results». — В: Phys. Lett. B 820 (2021), с. 136524. — arXiv:2105.11102 [hep-ph] .
4. Dmitry Gorbunov, Igor Krasnov, Yury Kudenko и Sergey Suvorov. — «Double-Hit Signature of Millicharged Particles in 3D segmented neutrino detector». — В: (2021). — arXiv: 2103.11814 [hep-ph] .

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания:

- 1) Одним из понятий, используемых в работе, является понятие «тяжёлые нейтральные лептоны». В работе используется английская аббревиатура HNL, но

отсутствует расшифровка этого понятия на русском языке.

2) В работе неоднократно используются формулировки «ограничения на стерильные нейтрино». Более правильно было бы сформулировать данные предложения как, например, «ограничения на массы и углы смешивания стерильных нейтрино». Такое же замечание относится и к обсуждению скалярных частиц.

3) В тексте используется терминология, которая отличается от общепринятой: вместо «относительная вероятность» или просто «брэнчинг»- «коэффициент ветвления»; вместо «геометрическая эффективность» или «аксептанс» - «геометрический фактор».

4) Не объяснено происхождение чисел в формулах (8) и (9).

5) Текст после уравнения (22) оставляет неверное впечатление, что в формуле для экспоненциального распада время жизни  $N$  зависит от того, в какое состояние частица распадается.

6) На стр.29-31 рассматривается идея разделения тяжелых стерильных нейтрино от активных по времени пролета до ближнего детектора. При этом используется длительность вывода пучка (которая называется автором «длительностью соударения») 10 мкс. При таких условиях только 0.1% стерильных нейтрино можно отделить от фона. Однако при быстром выводе из ускорителя пучок «банчирован», то есть временная структура пучка — это сгустки длительностью  $\sim 10$  нсек с промежутком  $\sim 300$  нсек (всего  $\sim 30$  банчей). Это обстоятельство может сильно изменить оценку.

7) На стр. 46 рассматривается идея установить рядом с «тяжелым» ближним детектором «легкий» детектор для регистрации распадов стерильного нейтрино. В состав ближнего детектора DUNE наряду с основным жидкоаргоновым ТРС «LAr» как раз входит MPD- Multi-Purpose Detector, который представляет собой газовую ТРС. Его вес  $\sim 1/50$  от веса основного детектора (см. доклад A.Weber в DESY 21.10.2019).

8) В симуляции потока рожденных в мишени  $\pi$  и  $K$  надо было учесть фокусировку с помощью HORN, например, в приближении тонкой линзы. Параметры HORN можно взять из эксперимента MINOS или NovA. То же замечание относится к учету фокусирующих магнитных систем и в следующей главе.

9) В первой главе было бы уместно привести сравнение перспектив в измерении (или ограничении) параметров тяжелых нейтральных лептонов для двух рассмотренных экспериментов.

10) При описании первого положения, выносимого на защиту, сказано, что «реализован метод оценки чувствительности экспериментов» и «написан оригинальный численный код». Такая формулировка не вполне понятно описывает данное положение.

11) Подписи к рисункам 33 и 39 не соответствуют самим рисункам. Содержание рисунков относится к первой главе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых и наличием работ высокого уровня по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) Написан оригинальный численный код, реализующий современные методы оценки чувствительности экспериментов с пучком на фиксированной мишени для нескольких моделей Новой Физики, легко обобщаемый на применение к широкому классу моделей и экспериментов.

2) Получены предсказания ограничений на параметры моделей стерильных нейтрино из экспериментов SHiP и DUNE. Хорошей площадкой поиска стерильных нейтрино являются эксперименты по определению параметров активных нейтрино. В литературе широко изучался вопрос рождения стерильных нейтрино в распадах  $D$ -мезонов и более тяжёлых частиц, но также интерес представляет изучение их рождения в распадах более лёгких долгоживущих частиц, в первую очередь каонов. В частности, полученные оценки

чувствительности DUNE предсказывают улучшение вплоть до порядка по сравнению с текущими ограничениями, а SHiP должен будет оказаться способен полностью исследовать центральную часть кинематически разрешенной области масс HNL и значений смешивания с электронными и мюонными нейтрино, вплоть до нижней космологической границы.

3. Для эксперимента PS191 получены ограничения на угол смешивания для легких скаляров массы, меньшей массы каона. Предложенный подход проверяется на другой физической модели. Используя ту же сигнатуру, что использовалась для поиска стерильных нейтрино, ставится задача интерпретации отрицательных результатов этого поиска в эксперименте PS191 для получения новых ограничений на легкие скаляры. В частности, результаты разработанного моделирования говорят о том, что ранее разрешенная область масс 100–150 МэВ и смешивания выше  $4 \times 10^{-4}$  оказывается закрытой отрицательными результатами PS191 для легких скаляров, связанных со Стандартной Моделью (СМ) через смешивание с бозоном Хиггса.

4. Для эксперимента T2K получены ограничения на заряд миллизаряженных частиц с массой меньше каона. Описанный подход проверен для принципиально другого метода обнаружения – регистрации взаимодействия стабильных частиц с веществом детектора. Для этого проведено моделирование процессов рождения и взаимодействия с веществом гипотетических миллизаряженных частиц в эксперименте T2K (и его преемнике T2HK). Сделана оценка сигнала двух взаимодействий миллизаряженной частицы в объёме детектора, и предсказана область параметров частиц, которую эти эксперименты исследуют за время своей работы. В частности, получено, что ранее недоступная для прямых поисков область зарядов  $5 \times 10^{-4} - 10^{-2} e$  и масс MCP 0,1-0,5 ГэВ, может быть исследована за 10 лет работы эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту. Весь код на языке C++, используемый во всех главах для моделирования распространение и распада частиц Новой Физики или их взаимодействия с частицами стандартной модели, написан и оптимизирован соискателем, так же как и код, используемый в первой главе для

моделирования рождения мезонов. Предсказания ограничений на углы смешивания и массы тяжелых нейтральных лептонов в рассматриваемом регионе масс от 140 до 400 МэВ для эксперимента DUNE были получены соискателем впервые в собственноручно написанной им статье, лёгшей в основу данной диссертации. Далее соискатель модифицировал свой код для возможности описания других экспериментов и моделей новой физики, и использовал его в каждой из последующих статей для получения основного результата в виде моделирования числа событий в детекторе.

На заседании 08.09.2022г. диссертационный совет принял решение присудить Краснову Игорю Вячеславовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, с использованием информационно-коммуникационных технологий, диссертационный совет в количестве **21** человека (в т.ч. 6 - в удаленном интерактивном режиме), из них **6** докторов наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – **0** человек, проголосовали: **за – 20, против – 1,**

Председатель заседания,  
заместитель председателя  
диссертационного совета Д 002.119.01  
доктор физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_ Безруков Л.Б.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 002.119.01  
кандидат физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_ Демидов С.В.

08.09.2022 г.

м.п.