

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Краснова Игоря Вячеславовича

**Перспективы поиска новой физики в экспериментах на фиксированной
мишени нового поколения ,**

представленную на соискание учёной степени кандидата физико–математических наук
по специальности

01.04.02 — теоретическая физика

Диссертация посвящена поиску новой физики, выходящей за рамки Стандартной модели физики элементарных частиц. До сих пор поиск новой физики заключался в строительстве ускорителей на всё более высокие энергии, что позволяло экспериментаторам находить всё более тяжёлые элементарные частицы. Именно так были найдены W - и Z - бозоны (SPS коллайдер, CERN), t - кварк (Tevatron, FNAL), бозон Хиггса (LHC). Поэтому при строительстве коллайдера LHC возлагались большие надежды на открытие на нём частиц за рамками Стандартной модели. Доступная на LHC энергия почти на порядок превышает энергию Тэватрона, что считалось достаточным для обнаружения на нём частиц за рамками Стандартной модели. Однако таких частиц найдено не было. Строительство pp коллайдера на энергию 100 ТэВ интенсивно обсуждается, но скорее всего до начала его работы пройдёт не один десяток лет. На вопрос, возможно ли открытие новой физики в годы, предшествующие запуску 100тэвного коллайдера, может быть дан положительный ответ. Для этого новые частицы должны слабо взаимодействовать с частицами Стандартной модели, что и объясняет отсутствие их проявлений на эксперименте. При этом их масса может быть очень небольшой, что позволяет искать их, скажем, в распадах К-мезонов. Предложения по поиску такой новой физики чрезвычайно соблазнительны - её открытие может произойти в течении нескольких годов, десятилетия ждать не надо. Поэтому в литературе интенсивно обсуждаются возможные частицы и эксперименты по их поиску. Таким образом, актуальность темы диссертации не вызывает сомнения.

Открытие осцилляций нейтрино однозначно свидетельствует о наличии у них ненулевой массы. Это требует расширения Стандартной модели. Вместе с тем мы знаем, что массы нейтрино не превышают одного электронвольта, что на много порядков меньше масс остальных частиц Стандартной модели. Естественным механизмом, объясняющим малость масс нейтрино, является механизм "качелей". Появляющиеся в этом механизме

тяжёлые нейтральные лептоны (HNL) исследуются в диссертации. Также анализируются скалярные частицы и миллизаряженные частицы (MCP).

Написана оригинальная программа, используемая для установления ограничений на параметры новой физики в экспериментах на фиксированной мишени. С её помощью получены предсказания для ограничений на пространстве параметров планируемых и поставленном эксперименте. Этим определяется новизна исследования.

Работы, в которых получены представляемые к защите результаты, опубликованы в ведущих в физике элементарных частиц журналах. Это демонстрирует их достоверность.

Остановлюсь кратко на содержании работы и на наиболее важных и интересных, с моей точки зрения, результатах диссертации.

Во **Введении** обсуждается актуальность темы, новизна и теоретическая и практическая значимость, даны сведения об апробации работы и приводится список работ, вошедших в диссертацию.

В **Первой главе** диссертации обсуждаются значения массы и угла смешивания стерильного нейтрино N , доступные для исследования в планируемых экспериментах DUNE и SHiP. Проведено моделирование эксперимента. N рождаются в распадах K -, D - и B -мезонов и распадаются например на заряженный лептон и π -мезон. Обсуждаются способы уменьшения фона при отборе данных. Приводятся области значений масс и углов смешивания N , доступные для обнаружения в обсуждаемых экспериментах.

Замечание: Было бы уместно сравнить перспективы двух рассмотренных экспериментов в измерении (или ограничении) параметров N .

Замечание: Непонятно происхождение чисел в формулах (8) и (9).

Замечание: *текст после уравнения (22) оставляет такое впечатление, что в формуле для экспоненциального распада время жизни N зависит от того, в какое состояние частица распадается.*

Вторая глава посвящена получению ограничений на лёгкую смешивающуюся с бозоном Хиггса синглетную частицу из данных эксперимента PS191. Проводившийся в восьмидесятых годах эксперимент искал стерильные нейтрино. Полученные в нём ограничения используются для получения ограничений на массу и угол смешивания скаляра. Рождаясь в распадах K -мезонов эти скаляры распадаются на пары заряженных лептонов или π -мезонов. Прделано моделирование пучка каонов и сигнала лёгких скаляров.

В **Третьей главе** обсуждаются ограничения на миллизаряженные частицы, которые могут быть получены из анализа данных ближнего детектора T2K в ходе экспериментов T2K и T2HK. Возможно обнаружение лёгких частиц с зарядами $10^{-2} - 10^{-3}$ заряда электрона. Используемая сигнатура — два последовательных взаимодействия в детекторе. Рассмотрено рождение этих частиц в распадах лёгких мезонов и последующее их рассея-

ние в детекторе. Доступной для обнаружения оказывается область масс 100 – 500 МэВ.

Замечание: Глава начинается с утверждения о необъяснимости квантования электрического заряда в Стандартной модели, тогда как наблюдаемые заряды фиксируются требованием отсутствия киральной аномалии в дивергенциях калибровочных токов. Кстати это один из аргументов в пользу того, что масса нейтрино имеет не Дираковскую, а Майорановскую природу — факт, лежащий в основе приводимого в первой главе рассмотрения свойств стерильного нейтрино.

В Заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

К недостаткам следует отнести некоторую небрежность в оформлении диссертации. Помещённые в третью главу рисунки 33 и 39 относятся ко второй и первой главам. Встречаются такие неудачные выражения, как: распадающиеся внутри распадающегося объёма, стр. 69; распады двух тел, стр. 74; скаляр создаётся частицами СМ, стр. 77.

Отдельные перечисленные недостатки ни в коей степени не снижают высокого уровня диссертации. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Следует подчеркнуть общий высокий уровень работы, актуальность и научная новизна которой не вызывают сомнений. Все полученные результаты опубликованы. Всего по теме диссертации опубликовано 4 работы в ведущих реферируемых журналах из списка ВАК. Очевиден большой, решающий вклад автора в работы, вошедшие в диссертацию. Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «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 ее автор, Краснов Игорь Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

8 июля 2022 г.

Высококвалифицированный главный научный сотрудник
лаборатории квантовой теории поля

Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма,
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН

М.И. Высоцкий

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,
119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53,
8(499)135-42-64, office@lebedev.ru

Подпись М.И. Высоцкого удостоверяю
заместитель директора ФИАН, д.ф.-м.н.

В.А. Рябов

Высоцкий Михаил Иосифович – доктор физико-математических наук, специальность 01.04.02 — Теоретическая физика.

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. S.I. Godunov, V.A. Novikov, M.I. Vysotsky, E.V. Zhemchugov, "Dimuon Resonance Near 28 GeV and the Muon Anomaly", JETP Lett. 109 (2019) 6, 358-363
2. M.I. Vysotsky, E.V. Zhemchugov, "Equivalent photons in proton and ion-ion collisions at the LHC", Usp.Fiz.Nauk 189 (2019) 9, 975-984
3. S.I. Godunov, V.A. Novikov, A.N. Rozanov, M.I. Vysotsky, E.V. Zhemchugov, "Quasistable charginos in ultraperipheral proton-proton collisions at the LHC", JHEP 01 (2020), 143
4. M.A. Andreichikov, M.I. Eides, V.A. Novikov, M.I. Vysotsky, "The physics of the η - η' system versus $B_0 \rightarrow J/\Psi \eta(\eta')$ and $B_s \rightarrow J/\Psi \eta(\eta')$ decays", Int.J.Mod.Phys.A 35 (2020) 21, 2050111
5. S.I. Godunov, E.K. Karkaryan, V.A. Novikov, A.N. Rozanov, M.I. Vysotsky, "LHC as a photon-photon collider: Bounds on $\Gamma_X \rightarrow \gamma\gamma$ ", Phys.Rev.D 103 (2021) 3, 035016