

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ширченко Марка Владиславовича
“Исследование свойств нейтрино: спиральность и магнитный момент” по
специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация М.В. Ширченко посвящена исследованию фундаментальных характеристик нейтрино, а именно: спиральности и магнитному моменту этой частицы. В силу отсутствия у нейтрино практически всех зарядов кроме лептонного, изучение свойств частицы сильно затруднено, а техника эксперимента в своём развитии лишь сравнительно недавно вышла на уровень, необходимый для таких исследований. В настоящее время наибольший интерес в физике нейтрино представляют исследования таких нерешенных вопросов, как величина массы нейтрино и иерархия массовых состояний, возможная тождественность нейтрино и антинейтрино (дираковская и майорановская природа частицы), количество флейворных состояний нейтрино, возможное существование стерильных нейтрино, роль нейтрино в астрофизике и механизмы генерация потоков нейтрино сверхвысоких энергий. На пути решения указанных открытых вопросов физики нейтрино важную роль может сыграть изучение таких важных свойств нейтрино, как спиральность и магнитный момент частицы.

Хотя исследование этих, вообще говоря, связанных между собой характеристик нейтрино имеет длинную историю, но оно по-прежнему остается в высшей степени **актуальным** в современной физике элементарных частиц. Так, экспериментальное обнаружение даже незначительного вклада от примеси правых нейтрино в конкретную характеристику процесса может свидетельствовать о наличии правых токов, неучтённых в стандартной модели электрослабых взаимодействий, но присутствующих во многих моделях Великого объединения. Это же может свидетельствовать и о наличии лептокварков и других экзотических частиц, также введённых в подобных теориях. Что же касается магнитного момента нейтрино, то существующие экспериментальные ограничения сверху на его эффективную величину на много порядков превосходят теоретические предсказания минимально расширенной Стандартной модели. При этом из достаточно общих теоретических рассуждений следует, что экспериментальное обнаружение магнитного момента нейтрино на уровне порядка или большем, чем 10^{-14} мВ может являться указанием на майорановскую природу нейтрино. До сих пор единственным типом экспериментов, которые могли дать информацию о природе нейтрино, были существенно более дорогостоящие эксперименты по поиску двойного безнейтринного бета-распада.

Новизна диссертационной работы обусловлена новизной применяемых экспериментальных подходов и методов. В случае измерения спиральности нейтрино — это использование источника излучения в жидкой фазе. Как показано в самой работе, это позволяет одновременно снизить влияние процессов торможения и обеспечить отсутствие твердотельных эффектов, связанных с тем, что изучаемое ядро находится в узле кристаллической решётки. В данном случае ядро можно рассматривать как квазисвободное и таким образом сильно упростить обработку полученных данных. Также существенным отличием от предыдущих опытов является то, что одна из ключевых экспериментальных характеристик — эффективность применяемого комптоновского поляриметра, измеряется непосредственно в

эксперименте. В случае магнитного момента была создана целая методика низкофоновых исследований вблизи работающего промышленного реактора. По совокупности применённых решений и технологий она не имела мировых аналогов, и теперь активно используется в целом ряде экспериментов как в России, так и за рубежом. В частности, использовавшийся детектор был расположен на минимально возможном расстоянии от реактора (14 метров от центра активной зоны), что обеспечивает большую плотность потока нейтрино. Вместе с тем применённые методы позволили довести радиоактивный фон в области интереса до значения 2 события $\text{кэВ}^{-1} \text{кг}^{-1} \text{день}^{-1}$, что составляет рекордную величину для подобных экспериментов.

Выполненная работа позволяет говорить об уверенном владении автором современными методами ядерной спектроскопии и анализа данных, что в совокупности со скрупулезным вниманием к учёту влияния внешних факторов, принципиально необходимым для такого рода исследований. Детальное описание процедуры анализа экспериментальных данных свидетельствует о **достоверности** полученных результатов. В пользу достоверности говорит также уже упомянутое измерение эффективности комптоновского поляриметра и большая суммарно накопленная статистика.

Результаты по ограничению величины эффективного магнитного момента нейтрино, полученные в работе, регулярно включаются «Международной коллаборацией по свойствам элементарных частиц» в «Обзоры по физике элементарных частиц» (Particle Data Group, «Review of Particle Physics»). Указанные результаты вошли в новый вышедший в 2018 году «Обзор по физике элементарных частиц» (M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 98 (2018) 030001), а также в дополнение к нему, выпущенное уже в 2019 году. Разработанные в диссертации методы нашли своё применение в целом ряде экспериментов, проводимых в настоящее время на экспериментальных и промышленных ядерных реакторах. В частности, можно упомянуть использование активного мюонного вето для подавления событий, вызванных космическим излучением, впервые применённое для экспериментов на атомных станциях. Всё это свидетельствует о **научной и практической ценности** обсуждаемой диссертации.

Диссертация состоит из введения и трёх глав, посвященных соответственно теоретическому обоснованию последующих исследований, эксперименту по измерению спиральности и эксперименту по измерению магнитного момента электронного антинейтрино. Работа хорошо структурирована и снабжена большим иллюстративным материалом. К сожалению, ей все же присуща некоторая небрежность в оформлении. В качестве примеров можно привести:

- ◆ Отсутствие подписей к рисункам 3.5 и 3.6
- ◆ Отсутствие ссылки на странице 74. В тексте есть лишь надпись “ССЫЛКА” в скобках.
- ◆ На рисунке 2.13, иллюстрирующем зависимость коэффициента усиления от температуры, нет подписи к правой шкале.
- ◆ В формуле 3.3 явная опечатка, приводящая к ошибке в размерности члена, связанного с энергией ядра
- ◆ Ссылка 72, являющаяся указанием на спецификации используемых детекторов, оформлена так, что не позволяет её проверить.

Однако указанные недостатки не снижают научной значимости обсуждаемой работы.

Необходимо также отметить, что основные результаты работы оформлены в виде статей, опубликованных в реферируемых журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, неоднократно докладывались автором на российских и международных конференциях.

Суммируя вышесказанное можно заключить, что диссертация М.В. Ширченко является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и методологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития физики элементарных частиц, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц.

Отзыв составил

официальный оппонент,

доктор физико-математических наук,

профессор физического факультета

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

почтовый адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, дом 1, стр. 2,

Физический факультет

телефон: +7-495-939-16-17

адрес электронной почты: studentik@srd.sinp.msu.ru

Александр Иванович Студеникин

Подпись профессора Студеникина Александра Ивановича заверяю.

Декан физического факультета МГУ

профессор



Н.Н.Сысоев