

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 **23.12.2021 г. № 7/72**

О присуждении **Мефодьеву Александру Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Разработка и создание магнитного нейтринного детектора Baby MIND» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, принята к защите 30 сентября 2021 года, протокол № 5/70 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 Мефодьев Александр Владимирович 1991 года рождения. В 2015 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский Физико-Технический Институт (национальный исследовательский университет)». В 2019 году соискатель А.В. Мефодьев окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский Физико-Технический Институт (национальный исследовательский университет)». В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории обработки больших данных в физике частиц и астрофизике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, Отдел физики высоких энергий.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, Куденко Юрий Григорьевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), отдел физики высоких энергий, главный научный сотрудник с совмещением должности заведующего отделом физики высоких энергий и лабораторией физики электрослабых взаимодействий отдела физики высоких энергий ИЯИ РАН.

Официальные оппоненты:

Соколов Анатолий Александрович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», отделение экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник.

Титов Олег Александрович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», отделение физики нейтрино, начальник лаборатории.

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) (пр. Академика Лаврентьева, 11, Новосибирск, Новосибирская обл.), в своем положительном заключении, подписанном Логачевым Павлом Владимировичем – доктором физико-математических наук, академиком РАН (директором ИЯФ СО РАН), Шварцем Борисом Альбертовичем – доктором физико-математических наук (главным научным сотрудником лаб. 3-3 ИЯФ СО РАН), указала, что диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от

24 сентября 2013 г. (п.9-14), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель имеет 75 опубликованных работ, в том числе 16 работ по теме диссертации, 5 [1 – 5] из них опубликованы в ведущих научных рецензируемых журналах рекомендованных ВАК, которые индексируются в международных базах Web of Science и/или Scopus, 11 [6 – 16] из них опубликованы в трудах конференций, индексируемых базами данных Web of Science и/или Scopus. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно. Список работ, по результатам диссертационного исследования:

1. Abe, K. , ... Mefodiev A., ..., et al.. Measurements of anti(ν_μ) and ν_μ + anti (ν_μ) charged-current cross-sections without detected pions or protons on water and hydrocarbon at a mean anti-neutrino energy of 0.86 GeV // PTEP, vol. 2021 (2021), 043C01.

2. Мефодьев А., Куденко Ю. Разработка Прототипа T ASD (Totally Active Scintillator Detector) // Ядерная физика и инжиниринг, том 5 (2014), номер 11-12, 924–930.

3. Blondel A., ..., Mefodev A., ..., et al. Study of timing characteristics of a 3 m long plastic scintillator counter using waveform digitizers // Nucl. Instrum. Meth. A vol. 877 (2018), pages 9 – 15.

4. Antonova M., ... Mefodiev A., ..., et al. Baby MIND: A Magnetized Segmented Neutrino Detector for the WAGASCI Experiment // JINST 12 (2017) 07, C07028.

5. Baldini W., ... Mefodiev A., ..., et al. Measurement of parameters of scintillating bars with wavelength-shifting fibres and silicon photomultiplier readout for the SHiP Muon Detector // JINST 12 (2017) 03, P03005.

6. Мефодьев А.В., Куденко Ю.Г., Минеев О.В., Хотянцев А.Н. Нейтринный детектор Baby-MIND// Письма в ЭЧАЯ, том 48 (2017), выпуск 6, 1002–1004.

7. Овсянникова Т., ..., Мefодьев А., ..., и другие. Эксперимент WAGASCI по измерению сечений взаимодействия нейтрино на воде и углеводороде на нейтринном пучке ускорителя J-PARC // Письма в ЭЧАЯ, том 48 (2017), выпуск 6, 1014–1017.

8. Chikuma N., ... Mefodiev A., ..., et al. Development of electronics and data acquisition system for the J-PARC T59 (WAGASCI) experiment // PoS, vol. EPS-HEP2017(2017), 780.

9. Antonova M., ... Mefodiev A., ..., et al. The Baby MIND spectrometer for the J-PARC T59(WAGASCI) experiment // PoS EPS-HEP2017 (2017) 508, EPS-HEP 2017, 508.

10. Ovsiannikova T., ... Mefodiev A., ..., et al. The new experiment WAGASCI for water to hydrocarbon neutrino cross section measurement using the J-PARC beam // J.Phys.Conf.Ser. 675 (2016) 1, 012030.

11. Noah E., ... Mefodiev A., ..., et al. Readout scheme for the Baby MIND detector // PoS PhotoDet2015 (2016) 031.

12. Mefodiev A., ..., et al. The design, construction and testing of T ASD (Totally Active Scintillator Detector) // PoS PhotoDet2015 (2016) 067.

13. Fuminao H., ... Mefodiev A., ..., et al. Performance test of new MPPC for a new neutrino detector WAGASCI // PoS PhotoDet2015 (2016) 046.

14. Mefodiev A., Kudenko Yu. The design of the totally active scintillator detector // J.Phys.Conf.Ser. 653 (2015) 1, 012016.

15. Blondel A., ... Mefodiev A., ..., et al. The WAGASCI experiment at JPARC to measure neutrino cross-sections on water // PoS EPS-HEP2015 (2015) 292.

16. Blondel A., ... Mefodiev A., ..., et al. Baby MIND Experiment Construction Status // Prospects in Neutrino Physics (2017), 4.

Соискатель внёс основной и определяющий вклад в подготовку работ [2, 3, 4, 6, 12, 14] и непосредственный вклад в подготовку работ [1, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16]. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

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:

- При вычислении временного разрешения сцинтилляционных счетчиков, автор представляет результаты только для горизонтальных счётчиков, вычисленных с помощью электроники на базе чипов DRS4 (п. 3.3.7). Однако в работе не представлены результаты для вычисления временного разрешения для вертикальных счетчиков. Учет времени срабатывания вертикальных счетчиков позволит улучшить результаты временного разрешения детектора, но этого в работе не сделано.

- В главе 5 автор представляет алгоритм валидации собранных данных, однако здесь не сказано о доле данных, не прошедших валидацию. Такая информация была бы полезной для более полного описания представленной процедуры.

- Во введении и в главе 2 упоминается, что новые детекторы (включая Baby MIND) позволят уменьшить систематическую ошибку с помощью “подхода, аналогичного использованному ранее”, однако сам подход не обсуждается. Хотя автор и приводит ссылку на статью, в которой раскрывается этот подход, разумно было бы привести эти сведения в явном виде в главе 2.

- на стр. 61 речь идет о тестировании сцинтилляционных счетчиков. Автор приводит графики, на основании которых должен делаться вывод о наличии брака, однако явный вывод о том, был ли выявлен брак, в тексте не приводится.

- На рисунке 5.11 сравнивается количество восстановленных треков до и после установки дополнительных модулей в детектор. В основном после установки модулей ситуация улучшается, однако есть небольшой участок на рисунке 5.11б ($\cos\theta = 0.8-0.9$), где до установки модуля ситуация несколько лучше, чем после. К сожалению, из рисунка и текста непонятно, насколько это

значимый эффект. Далее, на рисунке 5.26а присутствует фраза “zigzag pattern in physics data is expected”; из подписи к рисунку и основного текста неясно, к чему эта фраза здесь приведена.

- Не всегда последовательно и однообразно используются аббревиатуры и сокращения (например, на странице 23 для эксперимента Super-Kamiokande используется сначала “Super-K”, а уже в следующем абзаце - “SuperK”).

- В диссертации не приведена схема расположения рассматриваемых детекторов Baby MIND и WAGASCI в ближнем детекторе. Конечно, из статей, на которые ссылается автор, можно выяснить, что эти установки размещаются на уровне В2 ближнего детектора, однако было бы крайне полезно в Главе 2 привести общую схему ближнего детектора эксперимента T2K с указанием расположения всех подсистем.

- На стр. 57, где говорится о спектросмещающем волокне, используемом в счетчиках, показаны только спектры их излучения и поглощения. Здесь следовало бы привести и другие их параметры, в первую очередь эффективность и длину ослабления захваченного света.

- В разделе 3.3.3 на стр.58 описаны измерения со сцинтилляционными пластинами, однако каким образом и с каким источником частиц проводились измерения, остается только догадываться. Только на стр.62 написано: «Как было отмечено ранее, тестирование сцинтилляционных счетчиков на наличие брака проводилось в ИЯИ РАН на космических мюонах.», но ранее это нигде не указано. На Рис. 3.10, стр. 6, показано распределение по величине световыхода для сцинтилляционных пластин, по-видимому, для минимально ионизирующей частицы. Однако это не сказано явно.

- Формула для временного разрешения, помещенная автором на стр.65, - $\sigma t = (T_{left} + T_{right})/2$ не понятна. Там же приведена формула для учета зависимости временного разрешения от световыхода, $(p_0 + p_1)/\sqrt{LY}$, без какого-либо объяснения смысла параметров.

- Представленные на Рис. 5.26, стр.152, результаты измерения и моделирования световыхода сцинтилляционных счетчиков существенно ниже, чем было получено в предварительных измерениях (Рис.3.10) и приведенных в

Заклучении в числе результатов данной работы. Было бы правильно привести какие-то пояснения по этому поводу.

- Так как описываемый детектор предназначен для уменьшения систематической погрешности в расчетном числе событий, регистрируемых дальним детектором, было бы уместно привести какие-то оценки этого улучшения при использовании детектора Baby MIND и WAGASCI, что, к сожалению, не приведено в данной работе.

- В работе имеется также ряд стилистических неточностей и грамматических ошибок. Например, вызывают недоумение такие фразы и словосочетания как: «Все субдетекторы помещены в магнитное поле 0,2 Тл, создаваемое бывшим дипольным магнитом ...» на стр.45 или «...сканирование происходило каждые 10 см вдоль оси сцинтиллятора...» на стр.63, термин «... частота темнового тока ...» на стр. 78, «Почти все адроны, кроме высокоэнергетичных (более 5 ГэВ) мюонов, останавливаются в поглотителе др» на стр.44 и др. В термине «кремниевый ФЭУ» автор в большинстве случаев пропускает одну букву и получается «кремневый ФЭУ», как если бы материалом для этого сенсора был не кремний, а кремень. Нет упоминания и описания в тексте представленных рисунков 1.4, 1.5, 2.9. Иногда нет четкого описания используемых элементов (описание коннектора на стр. 60).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Создан магнитный железный нетринный детектор Baby MIND, который предназначен для использования совместно с мишенью WAGASCI. Применение данного детектора позволяет реконструировать нейтринные события, произошедшие в мишени из пластика и воды. Данный детектор измеряет энергию и заряд регистрируемых мюонов, образованных от взаимодействия нейтрино с пластиком (CH) и водой (H₂O).

- Проведено тестирование составных элементов и детектора Baby MIND в полном объеме на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе. Получены параметры

светового выхода сцинтилляционных счетчиков, временное разрешение, эффективность регистрации, а также произведено восстановление зарядов зарегистрированных частиц.

- Проведено тестирование составных элементов и детектора Baby MIND в полном объеме на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе. Получены параметры светового выхода сцинтилляционных счетчиков, временное разрешение, эффективность регистрации, а также произведено восстановление зарядов зарегистрированных частиц.

- Разработаны алгоритмы калибровки кремниевых фотоумножителей и электроники детектора Baby MIND. Созданы алгоритмы восстановления амплитуды из времени сигнала над порогом регистрации.

- Разработан и протестирован алгоритм восстановления треков заряженных частиц и алгоритм восстановления импульсов мюонов, образованных от взаимодействия нейтрино с пластиком и водой в мишени WAGASCI.

- Измерен спектр мюонов, образованных в CCQE взаимодействиях нейтрино, на основе данных, накопленных за технический и первый физический сеанс на нейтринном пучке T2K. Диапазон измеренных импульсов составил 350 - 1600 МэВ/с с пиком в 500 МэВ/с. Полученный спектр согласуется с результатами полученными методом Монте-Карло.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанный детектор позволяет использовать его с мишенью WAGASCI в качестве спектрометра для восстановления нейтринных событий в мишени. Разработанная электроника FEBs позволяет использовать их в других экспериментах (например, планируется модернизация детектора ND280 и использование в качестве центрального детектора нейтрино сегментированного сцинтилляционного детектора (Super Fine Granulated Detector, SFGD)). Программное обеспечение, разработанное в ходе разработки и тестирования детектора Baby MIND, может быть использовано и уже используется в других детекторах (SFGD).

Разработанный детектор имеет принципиально новый принцип намагничивания железных модулей. Намагничивание модулей происходит с

помощью алюминиевых катушек. Принципиально новый дизайн магнитных модулей позволяет существенно уменьшить геометрические размеры, что, в свою очередь, позволяет увеличить количество активного материала. Оцифровка сигналов в детекторе Baby MIND происходит с помощью принципиально новой электроники на базе чипов CITIROC ASICs. Данная электроника оцифровывает сигнал, используя два предусилителя на каждом канале, что позволяет иметь большой динамический диапазон и точное значение амплитуды сигнала.

Оценка достоверности результатов выявила:

- Воспроизводимость результатов вычисления параметров отдельных сцинтилляционных счетчиков и модулей детектора при тестировании на космических мюонах и пучках ускорителей.

- Соответствие результатов вычисления спектра мюонов, зарегистрированных детектором Baby MIND в ходе первого физического сеанса, ожидаемым результатам.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах разработки и создания нового нейтринного детектора Baby MIND. Он принимал активное участие в измерениях параметров сцинтилляционных счетчиков, таких как световой выход, временное разрешение и эффективность регистрации на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе, участвовал на всех этапах разработки электроники детектора для проведения тестов на пучке заряженных частиц. А также участвовал на всех этапах сборки, настройки, установки и запуска детектора Baby MIND и принимал активное участие в тестировании собранного детектора на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе. Соискатель разработал программный комплекс для обработки данных, полученных с электроники Baby MIND FEBs, для последующей калибровки кремниевых фотоумножителей и визуализации событий, зарегистрированных в детекторе. При непосредственном участии соискателя детектор был установлен и запущен в работу на нейтринном пучке T2K, проведены технический и

физический сеансы, восстановлены нейтринные события в детекторе Baby MIND и получен спектр мюонов от CCQE взаимодействий нейтрино.

На заседании, проведенном 23 декабря 2021 года в удаленном интерактивном режиме в соответствии с Приказом Минобрнауки России № 458 от 7 июня 2021 г., диссертационный совет принял решение присудить Мефодьеву А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении повторного тайного голосования, с использованием информационно-коммуникационных технологий, диссертационный совет в количестве **22** человек (в т. ч. **9** - в удаленном интерактивном режиме), из них **8** докторов наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту - **0** человек, проголосовали:

за – **22**, против – **0**.

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.

23.12.2021 г.

м.п.