

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 **30.09.2021 г. № 5/70**

О присуждении **Федотову Сергею Андреевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Разработка и создание детекторов заряженных частиц для каонных и нейтринных экспериментов» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, принята к защите 08 июля 2021 года, протокол № 2/67 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 Федотов Сергей Андреевич 1993 года рождения. В 2016 году соискатель окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ". С 2016 по 2020 год соискатель обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника отдела физики высоких энергий 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:

Кузьмин Александр Степанович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория 3-3, главный научный сотрудник.

Чепурнов Александр Сергеевич, кандидат 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 (НИИЯФ МГУ), отдел электромагнитных процессов и взаимодействий в атомных ядрах, старший научный сотрудник
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ) (Ленинградская обл., г. Гатчина), в своем положительном отзыве, подписанном Воробьевым Алексеем Алексеевичем — членом корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, профессором (научный руководитель Отделения физики высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ), Кимом Виктором Тимофеевичем, доктором физико-математических наук (заместитель руководителя Отделения физики высоких энергий по научной работе НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ), Дзюбой Алексеем Алексеевичем, кандидатом физико-математических наук (и.о.

заведующего лабораторией барионной физики, старший научный сотрудник) и утвержденном заместителем директора по научной работе НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ Ворониным Владимиром Владимировичем - доктором физико-математических наук, профессором, указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Федотов Сергей Андреевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель имеет 39 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК [1-8]. 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. O. Mineev, ..., **S. Fedotov**, ...*et al.* Parameters of a fine-grained scintillator detector prototype with 3D WLS fiber readout for a T2K ND280 neutrino active target // Nucl.Instrum.Meth.A, Volume **936**, 21 August 2019, Pages 136-138
2. O. Mineev, ..., **S. Fedotov**, ...*et al.* Beam test results of 3D fine-grained scintillator detector prototype for a T2K ND280 neutrino active target // Nucl.Instrum.Meth.A, Volume **923**, 11 April 2019, Pages 134-138
3. A.Blondel, ..., **S. Fedotov**, ...*et al.* The SuperFGD Prototype charged particle beam test // JINST **12** (2020) JINST no. 15, P12003
4. **S. Fedotov** New 3D fine-grained scintillation detector for the T2K experiment // JINST **07** (2020) no. 15, C07042
5. V. Duk, ..., **S. Fedotov**, ...*et al.* Performance studies of the hodoscope prototype for the NA62 experiment // JINST **11** (2016), no. 06, P06001
6. E. Cortino Gil, ..., **S. Fedotov**, ...*et al.* The Beam and detector of the NA62 experiment at CERN // JINST **12** (2017) no. 05, P05025

7. A. Blondel, ..., **S. Fedotov**, ...*et al.* A fully-active fine-grained detector with three readout views // JINST **02** (2018), no 13, P02006
8. **S. Fedotov**, A. Kleymenova, A. Khotjantsev. New CHOD Detector for the NA62 experiment at CERN // Physics of Particles and Nuclei, 2018, Vol. **49**, No. 1, Pages 26-29

Соискатель внёс основной и определяющий вклад в подготовку работ [4, 8] и непосредственный вклад в подготовку работ [1, 2, 3, 5, 6, 7]. 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:

- Не всегда приведены выводы, следующие из результатов измерений. Так на странице 63 диссертации показано, что при использовании фотодетекторов третьего типа временное разрешение несколько хуже, но не говорится, будут ли в установке использованы фотодетекторы всех типов и по какому критерию будет проходить выбор.
- На странице 66 диссертации приведены длины затухания света в волокнах, которые различны для волокон разной длины. Было бы уместно привести возможное объяснение этого эффекта, а также прокомментировать, какое влияние эта длина поглощения будет оказывать на характеристики счетчика.
- На странице 70 диссертации показана зависимость световыхода счетчиков от времени. Было бы полезно экстраполировать полученные данные и привести максимальный эффект, который можно ожидать за время работы эксперимента.
- На странице 111 диссертации описывается увеличение темнового тока со временем, которое объясняется радиационным повреждением фотосенсоров и

отмечается, что радиационная загрузка, полученная в эксперименте, заметно ниже, чем доза, которая может вызвать такое увеличение темнового тока. Казалось бы, этот вопрос достаточно важный и требует дополнительного пояснения и разбирательства. Связано ли наблюдаемое несоответствие с неправильной оценкой фона в области фотосенсоров или с большей чувствительностью фотодетекторов к радиационной загрузке?

- Также имеются мелкие неточности и опечатки. Например, на Рис. 43 диссертации а) во второй диаграмме вместо кварковой линии (u,c,t) показана линия W-бозона, слово «сверхредкий» в нескольких местах написано раздельно. Так как работа написана на русском языке, вместо термина crosstalk правильнее использовать выражение на русском, например: наводка с канала на канал.
- В диссертации практически нет данных о других экспериментах – как нейтринных реакторных, так и по поиску редких распадов. Обзор литературы, посвященный аналогичным экспериментам, мог бы быть на месте достаточно поверхностного теоретического введения в физику нейтрино (Глава 1), которое не очень информативно и выглядит слабо связанным с основным текстом диссертации.
- Наблюдается некоторая неаккуратность при оформлении многих рисунков с графиками и статистическими данными. Они без обработки взяты из пакета обработки данных и прямо так как есть, с данными на английском языке, вставлены в рисунки. Подписи к таким рисункам не всегда достаточно понятны.
- Наблюдается некоторая небрежность в применяемой терминологии. Например, в разделах диссертации 4.3 и 4.4 используется понятие «световыход» и для реального световыхода сцинтилляционного материала, и для характеристики светосбора на фотоприемнике, и для характеристики ослабления в волокне. Следовало бы или ввести собственное определение термина «световыход» и его далее применять, или использовать общепринятое понимание световыхода пластикового сцинтиллятора с пояснением, как интерпретировать приведенные результаты.

- При описании технологии изготовления сцинтилляционных кубиков детектора SuperFGD в третьей главе приводятся данные об их составе. Однако, отсутствует обоснование, почему были выбраны именно эти сцинтилляционные добавки и как были определены их необходимые концентрации.
- При обсуждении мотивации создания детектора SuperFGD во второй главе диссертации приводится тезис о необходимости снижения систематической ошибки в эксперименте T2K. Но несмотря на то, что в третьей главе приводятся результаты моделирования, которые показывают уменьшение порогов и увеличение эффективности регистрации частиц под большими углами, точное ожидаемое значение систематической ошибки не приводится, и, в рамках данной работы, непонятно, насколько в действительности данный детектор позволит уменьшить систематическую ошибку эксперимента.

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

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Создан новый высокосегментированный детектор нейтрино SuperFGD. Данный детектор должен значительно увеличить чувствительность эксперимента T2K при поиске CP-нарушения в лептонном секторе за счет уменьшения существующих систематических погрешностей с текущего уровня в 6–7% до 3–4%. Кроме того, данный детектор планируется использовать в проекте Hyper-Kamiokande.
- В тестах на пучке ускорителя PS в CERN двух прототипов детектора SuperFGD были определены основные параметры будущего детектора, а также проведено тестирование считывающей электроники и проведена проверка возможности восстановления треков и идентификации типа частиц, проходящих через прототип. Результаты тестов подтвердили возможность создания первого в мире детектора подобной конфигурации.

- В тестах на космических мюонах осуществлен контроль параметров сцинтилляционных сегментов детектора SuperFGD в процессе их изготовления. В результате данных тестов в течение двух лет не было обнаружено ни единого сцинтилляционного кубика с низким значением световыхода. Также проведено исследование ослабления сигнала в спектросмещающих волокнах, в результате которого были получены длины затухания для волокон различной конфигурации.
- Проведено моделирование прохождения мюонного гало пучка вдоль линии эксперимента NA62. В результате данного моделирования были определены загрузки мюонами гало различных элементов экспериментальной установки NA62.
- Осуществлено тестирование применяемых в детекторе NewCHOD микропиксельных фотосенсоров. В результате тестирования было показано, что значение PDE, заявленное в спецификациях производителем, значительно отличается от реального.
- Определены основные параметры детектора NewCHOD, после его установки в экспериментальном холле NA62. Было показано, что новый детектор обладает практически в три раза лучшим временным разрешением, чем детектор CHOD, до осуществления корреляций по времени.

Оценка достоверности результатов выявила:

- Соответствие результатов тестов различных элементов детектора SuperFGD с результатами независимых тестов и теоретическими моделями.
- Воспроизводимость в условиях работы эксперимента NA62 результатов исследования физических параметров элементов детектора NewCHOD, полученных в специализированных экспериментальных установках.
- Соответствие реальных физических данных, полученных в ходе работы эксперимента NA62, результатам, полученным при осуществлении моделирования мюонного гало пучка в данном эксперименте.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах разработки и создания нового высокосегментированного трехмерного сцинтилляционного нейтринного детектора SuperFGD для эксперимента T2K. Он

принимал активное участие в тесте на пучке заряженных частиц ускорителя PS в CERN первого прототипа детектора SuperFGD и в определении параметров сцинтилляционных кубиков. Соискатель осуществлял тестирование на космических мюонах сцинтилляционных кубиков, изготовленных для детектора SuperFGD. С помощью космических мюонов исследовал ослабление сигнала в спектросмещающих волокнах KurarayY11. Осуществил тестирование всех применяемых в детекторе NewCHOD микропиксельных фотодетекторов SensL SiPM. Соискатель принимал участие в настройке экспериментальной установки NA62 и контроле за стабильностью работы детектора NewCHOD во время сеансов по набору статистики эксперимента NA62, а также провел моделирование прохождения мюонного гало пучка вдоль линии эксперимента NA62, определил загрузки мюонами гало различных элементов экспериментальной установки NA62 и подробно рассмотрел координатное распределение интенсивности мюонного гало перед распадным объемом.

Описанные методики тестирования и определения параметров различных элементов сцинтилляционных детекторов заряженных частиц могут быть рекомендованы для применения при разработке и создании детекторов для других современных физических экспериментов. Методика и практический опыт сборки сотен тысяч сцинтилляционных кубиков в единую структуру могут применяться при создании других детекторов со схожей геометрией и характеристиками. Полученные результаты работы могут использоваться в исследованиях, проводимых в ИФВЭ, ОИЯИ, МИФИ, ФИАН, ЦЕРН (Швейцария), Фермилаб (США), ЕТН (Цюрих, Швейцария), Университете Женевы (Швейцария), Университете Париж-Сакле (Франция), Политехнической Школе (Франция), Университете Падуи (Италия), Токийском Университете (Япония) и др.

На заседании, проведенном 30 сентября 2021 года в удаленном интерактивном режиме в соответствии с Приказом Минобрнауки России № 458 от 7 июня 2021 г., диссертационный совет принял решение присудить Федотову С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, с использованием информационно-коммуникационных технологий, диссертационный совет в количестве **20** человек, из них **6** докторов наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, участвовавших в заседании, из **30** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **-0** человек, проголосовали: за – **20**, против – **0**.

Председатель
диссертационного совета Д 002.119.01
академик РАН

_____ Рубаков В.А.

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

_____ Демидов С.В.

30.09.2021 г.

м.п.