

Минобрнауки России

«УТВЕРЖДАЮ»

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук
(ИЯФ СО РАН)

Проспект ак. Лаврентьева, д. 11,
г. Новосибирск, 630090

телефон: (383) 329-47-60, факс: (383) 330-71-63

<http://www.inp.nsk.su>, e-mail: inp@inp.nsk.su

ОКПО 03533872 ОГРН 1025403658136

ИНН/КПП 5408105577 / 540801001

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
ядерной физики им. Г. И. Будкера
Сибирского отделения Российской
академии наук

академик РАН

П.В.Логачев

« 02 » декабря 2021 г.

от _____ № 15311 – _____

на № _____ от _____

О направлении отзыва на диссертацию

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Мефодьева Александра Владимировича
«Разработка и создание магнитного нейтринного детектора Baby MIND»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности

01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа Мефодьева Александра Владимировича относится к актуальной области физики элементарных частиц – изучению осцилляций нейтрино. Несмотря на то, что в настоящее время Стандартная Модель взаимодействий элементарных частиц (СМ) успешно описывает широкий круг явлений, имеется целый ряд указаний на ее неполноту. В первую очередь таким указанием является наблюдение нейтринных осцилляций и, следовательно, наличия ненулевых масс нейтрино. Таким образом, изучение осцилляций нейтрино и измерение характеристик этих осцилляций с высокой точностью чрезвычайно важны. Для проведения таких экспериментов необходимы экспериментальные установки с большой массой рабочего вещества, предельно высокие интенсивности нейтринных пучков и точное знание их характеристик. Рассматриваемая диссертационная работа выполнена в рамках длиннобазового эксперимента T2K, в котором нейтрино, генерируемые ускорительным комплексом J-PARC (Япония), регистрируются детектором Super KamioKande, расположенном на расстоянии около 300 км от источника нейтрино.

Целью данной диссертационной работы является разработка и создание детектора Baby MIND (Magnetized Iron Neutrino Detector), предназначенного для спектрометрии мюонов в нейтринных событиях в ближнем детекторе эксперимента T2K. В задачи данной работы входило также измерение характеристик детектора с помощью космических мюонов и пучков заряженных частиц в CERN. Приведены первые результаты, полученные в эксперименте T2K.

Диссертация на 186 страницах содержит введение, пять глав, заключение и список литературы из 114 ссылок.

Во введении приведена мотивация данного исследования, кратко изложены история открытия нейтринных осцилляций и недавние результаты в этой области. Сформулированы цели и задачи представленной работы. Обоснованы актуальность, научная новизна и практическая ценность работы, указан личный вклад соискателя, а также дана общая характеристика и описана структура диссертационной работы.

В первой главе описаны эксперименты по изучению осцилляций солнечных, атмосферных, реакторных и ускорительных нейтрино. Наиболее подробно описаны ускорительные эксперименты с регистрацией нейтрино на большом расстоянии (сотни км) от ускорителя, т.н. длиннобазовые эксперименты. В этой главе приводятся также теоретические выражения для осцилляций нейтрино разных типов.

Во второй главе подробно рассмотрен нейтринный ускорительный эксперимент с длиной базой T2K. Описаны система ближних детекторов ND280, расположенных в ускорительном центре J-PARC на расстоянии 280 м от источника нейтрино, и дальний детектор Super-Kamiokande, находящийся на расстоянии 295 км от J-PARC. Приведены основные результаты эксперимента, полученные к настоящему времени, включая указание на возможное нарушение CP-симметрии в нейтринном секторе.

В третьей главе описана конструкция детектора BabyMIND и его элементов – модулей намагниченного железа с катушками для намагничивания, чередующихся со сцинтилляционными счетчиками. Сцинтилляционный свет регистрируется кремниевыми ФЭУ. Рассмотрена процедура изготовления элементов детектора и измерения характеристик сцинтилляционных счетчиков.

Четвёртая глава посвящена измерениям с элементами детектора BabyMIND на пучке заряженных частиц в ЦЕРНе. Для этих измерений было разработано программное обеспечение для сбора данных и их последующего анализа. Три сеанса измерений, проведенных в 2016-2017 годах, показали работоспособность детектора и соответствие измеренных параметров ожидаемым значениям.

В пятой главе представлены результаты первых измерений с детектором BabyMIND, установленным в области ближнего детектора ND280 эксперимента T2K совместно с мишенью-детектором WAGASCI, детекторами WallMRDs и протонным модулем. Описаны разработанная система сбора данных, система синхронизации с другими подсистемами детектора, а также алгоритмы обработки получаемых данных. Описаны результаты изучения эффективности восстановления треков, импульсов и зарядов зарегистрированных мюонов в зависимости от угла трека и импульса мюона. Проведено сравнение полученных результатов с результатами моделирования методом Монте-Карло.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты и выводы, полученные в данной работе.

Актуальность рассматриваемой диссертационной работы определяется важностью точных измерений параметров матрицы смешивания нейтрино, включая фазу возможного нарушения CP-симметрии в нейтринном секторе. Поэтому уменьшение систематической неопределенности в расчетном числе событий, регистрируемых дальним детектором эксперимента T2K, что является задачей детектора, разработанного в рамках данной работы, является крайне важным.

Научная новизна в данной работе обусловлена разработкой и созданием нового магнитного детектора, BabyMIND, для регистрации нейтрино в зоне ближнего детектора ND280 эксперимента T2K. Этот детектор, состоящий из слоев намагниченного железа, перемежающихся со сцинтилляционными счетчиками, позволяет восстанавливать энергию проходящих частиц как по пробегу в детекторе, так и по отклонению от начальной траектории. Для детектора BabyMIND была разработана и создана новая электроника и программное обеспечение для обработки информации с детектора.

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что разработанный и созданный в рассматриваемой работе детектор BabyMIND позволит улучшить точность из-

мерений нейтринных осцилляций в эксперименте T2K. Результаты данной работы и разработанные методы будут использоваться и для других подсистем комплекса ND280 эксперимента T2K. Эти результаты могут быть применены для создания подобных детекторов в российских и зарубежных научных организациях, в частности в ИЯИ РАН, ОИЯИ, НИЯУ МИФИ, ЦЕРН (Швейцария, Франция) и других.

Личный вклад автора диссертации в описанное исследование является определяющим. Вынесенные на защиту результаты получены автором лично, либо при его определяющем участии.

Достоверность полученных в данной работе результатов не вызывает сомнений. Она подтверждена многочисленными измерениями параметров отдельных сцинтилляционных пластин и модулей детектора с использованием космических частиц и тестовых пучков. Измерения с нейтринным пучком, проведенные с детектором BabyMIND в эксперименте T2K, продемонстрировали работоспособность детектора и соответствие его характеристик требованиям эксперимента.

В целом работа выполнена на высоком уровне. Выскажем лишь несколько замечаний.

В диссертации не приведена схема расположения рассматриваемых детекторов BabyMIND и WAGASCI в ближнем детекторе. Конечно, из статей, на которые ссылается автор, можно выяснить, что эти установки размещаются на уровне B2 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 Заключение 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 BabyMIND 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 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 кремль.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации, представляющей собой законченное исследование. Достоверность выводов и результатов диссер-

тации, а также их новизна и актуальность не вызывают сомнений. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК, и представлены на российских и международных научных конференциях. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Мефодьева Александра Владимировича удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 2409, (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.

Отзыв на диссертацию обсуждался и был одобрен на заседании Секции физики элементарных частиц Ученого Совета ФГБУН ИЯФ СО РАН.

Отзыв составил
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник лаб.3-3 ИЯФ СО РАН

Б.А.Шварц

Почтовый адрес:
630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева д.11
тел. +7-383-3294376, e-mail: shwartz@inp.nsk.su

Ученый секретарь ИЯФ СО РАН
кандидат физ.-мат. наук

А.В.Резниченко

Список основных публикаций работников организации по теме диссертации
соискателя

в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Bondar, A., и др., Measurement of the energy dependence of the $e^{(+)} e^{(-)} \rightarrow B(\overline{B}), B(\overline{B}^*)$ and $B^*(\overline{B}^*)$ exclusive cross sections // JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, 2021 -6- 137.
2. Ivanov, V.L., Vorobiov, A.I., Shwartz B.A. и др., Charged particle identification with the liquid xenon calorimeter of the CMD-3 detector // - Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2021 - 1015 - 165761.
3. Epifanov D., Shwartz B. и др., Test of Lepton-Flavor Universality in $B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-$ Decays at Belle // Physical Review Letters, 2021 - 126(16) - 161801.
4. Korobov, A.A., Shwartz, B.A., Vorobiov, A.I., CMD-3 muon system efficiency // Journal of Instrumentation, 2020 - 15(10) - C1 0018.
5. Matvienko, D.V., B.I., Shwartz, B.A. и др. Scintillation properties of $(Zn_{0.9}Pb_{0.1})(W_{0.9}Mo_{0.1})_4$ and $(Zn_{0.9}Cd_{0.1})(W_{0.9}Mo_{0.1})_4$ mixed crystals // Journal of Instrumentation, 2020 - 15(7) - C07028.
6. Akhmetshin, R.R., и др., Study of the process $e^+e^- \rightarrow KS^0KS^0\pi^+\pi^-$ in the c.m. energy range 1.6-2.0 GeV with the CMD-3 detector // Physics Letters, Section B, 2020 - 804 - 135380.
7. Akhmetshin, R.R., и др., Observation of a fine structure in $e^+e^- \rightarrow$ hadrons production at the nucleon-antinucleon threshold // Physics Letters, Section B, 2019 - 794 - 64-68.