

ОТЗЫВ

официального оппонента Белова Владимира Александровича на диссертацию Чернова Василия Геннадьевича «Разработка распределенной системы сбора данных и анализ формы импульса событий на установке «Троицк ню-масс»», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Чернова В.Г. посвящена усовершенствованию системы сбора данных установки «Троицк ню-масс» и решению проблемы с анализом наложенных событий. Эти задачи возникли при модернизации установки для прецизионного измерения формы бета-спектра распада трития в рамках поисков стерильного нейтрино с массой в районе единиц кэВ. Избранная тема, несомненно, является актуальной, так как обнаружение стерильных нейтрино будет означать открытие «новой» физики за пределами Стандартной Модели. В настоящее время поиски стерильного нейтрино ведутся многими научными коллективами по всему миру. Такие исследования представляют интерес как с точки зрения поисков тёмной материи, так и для решения проблемы «реакторной аномалии».

Для решения поставленных задач соискатель разработал структуру системы сбора данных установки «Троицк ню-масс» адаптированную к высоким скоростям счёта и обладающую низкими системными требованиями. Был радикально пересмотрен подход к регистрации данных и осуществлён переход от использования устаревшей технологии АЦП последовательного приближения к полностью параллельным АЦП прямого преобразования, что позволило производить запись форм сигналов. Этот подход, совместно с разработанными автором методами разделения наложенных событий по форме сигналов, позволил значительно уменьшить мёртвое время и провести измерения на установке со

скоростями до 40 тыс. соб./с. Проведённые оптимизации позволили достичь производительности достаточной для работы в режиме реального времени.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списков литературы, таблиц и иллюстраций.

Во введении представлена общая характеристика работы, обосновывается актуальность исследований, излагаются научная новизна и практическая значимость.

В первой главе автор очень кратко описывает методы поиска стерильных нейтрино путём изучения формы спектра бета-распада, приводит обзор наиболее важных экспериментов в этой области.

Вторая глава посвящена описанию конструкции и особенностей работы установки «Троицк ню-масс». Большое внимание уделено регистрации событий детектора и строению системы сбора данных.

В третьей главе изложены подходы и методы применённые при разработке модернизированной системы сбора данных. Приведены подробное обоснование и описание разработанного автором формата передачи и хранения данных. Изложены подробности реализации программных модулей системы и особенности их функционирования.

Четвёртая глава посвящена расширению системы сбора данных для использования нового оборудования, а именно платы параллельного АЦП с буферной памятью «ЛАН10-12РСІ» производства фирмы «Руднев-Шиляев» и устройства сбора данных «DANTE», разработанного коллаборацией «TRISTAN» в качестве прототипа для эксперимента «KATRIN». Предложенная автором архитектура системы позволила успешно провести эту работу.

Пятая глава описывает модернизацию системы сбора данных для увеличения допустимой скорости счёта событий, что потребовало отказаться от поиска изолированных событий и включить в обработку события пересекающиеся

во времени. В силу аппаратных ограничений система сбора данных была переведена в бестриггерный режим работы, а вся работа по выделению импульсов была реализована программно. Подробно изложены несколько исследованных алгоритмов обработки форм сигналов и выделения параметров событий. Сравнение эффективности и скорости работы реализаций алгоритмов проводится с использованием созданной автором программной модели сигналов детектора, использующей усреднённые формы реальных событий и записанные с установки формы шумовых сигналов. Обнаружено, что предложенный автором метод обладает лучшими свойствами. Достигнута эффективность 96.3% распознавания сигнала при вероятности ложноположительных срабатываний 0.03%. Измеренное эффективное мертвое время составляет 0.9 мкс, что значительно лучше 7.2 мкс полученных на предыдущей системе сбора данных.

В заключении отмечены основные результаты работы, к которым можно отнести модернизацию системы сбора данных установки «Троицк ню-масс», тестирование детектора «TRISTAN», переход к обработке форм сигналов, разработку методов определения параметров событий с учётом возможности наложения.

Диссертационная работа Чернова В.Г. выполнена на современном научном уровне. Поставленная цель по усовершенствованию прибора для прецизионного измерения формы бета-спектра распада трития была достигнута. Применённые подходы и методы представляют интерес, что подтверждается полученными с помощью установки «Троицк ню-масс» лучшими в мире результатами по поиску стерильного нейтрино с массой в районе 1-2 кэВ (детектор «ню-масс»), а также в районе 3-5 кэВ (с использованием детектора «TRISTAN»). Результаты в полной мере характеризуют достаточную степень научной новизны проведённой работы.

Отдельно следует отметить, что исходный код разработанных программных инструментов выложен в свободный доступ. Это не только открывает доро-

гу для использования их в других проектах, но и соответствует духу академической науки.

Конечно, как впрочем и в любой диссертационной работе, не обошлось без некоторых шероховатостей, так, например, оппоненту было немного неожиданно узнать, что «действенность подтверждается популярностью» (стр.8), и что возможна «непрерывная оцифровка сигнала с пропусками» (стр.113). Также было приятно видеть, что автору помогло «наличие у спектра функции» (стр.64), а события образуют «несимметричную конченную форму» (стр.107). Наиболее интересно было обнаружить, что «папка мониторит свой размер» (стр.43). Также в тексте ощущаются избыток опечаток и недостаток запятых.

Из более существенных замечаний следует отметить следующие:

1) Автор уделяет мало внимания обоснованию выбора программных решений. Так не ясны переходы между используемыми языками программирования.

2) Не совсем понятно, почему автор называет используемый режим набора данных «непрерывной оцифровкой», хотя прямо в тексте диссертации показано, что мёртвое время чтения составляет 13%.

3) Применённый метод получения функции пересчёта измерений приборов «ЛАН10-12РСІ» и «MADC» хоть и опирается на сигнал с генератора, но использует одну-единственную амплитуду. Даже в предположении о линейности шкал обоих приборов это должно привести к существенно бóльшим ошибкам, чем при использовании нескольких амплитуд.

4) Важным результатом является полученное «эффективное мертвое время разделения импульсов», соответствующее разрешающей способности по времени. К сожалению, процедура его расчёта не описана во всей полноте.

5) С методологической точки зрения существенным недостатком является полное отсутствие вычисления ошибок к получаемым значениям, в том числе относящихся к защищаемым результатам.

Перечисленные замечания не снижают общую оценку и высокий уровень научной и практической ценности проделанной работы. Результаты работы своевременно опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК, и публично доложены в рамках ряда международных научных мероприятий. Автореферат корректно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Чернова Василия Геннадьевича «Разработка распределенной системы сбора данных и анализ формы импульса событий на установке «Троицк ню-масс»» удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Чернов Василий Геннадьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Дата составления отзыва 02 апреля 2020 г.

Официальный оппонент

Кандидат физико-математических наук, _____ / Белов В.А. /
Старший научный сотрудник
Лаборатории сильных взаимодействий
Института теоретической и
экспериментальной физики им.
А.И. Алиханова Национального
исследовательского центра
"Курчатовский институт"
Почтовый адрес: 117218, Москва, ул.
Б. Черемушкинская, д.25, ИТЭФ
E-mail: belov@itep.ru
Телефон: +7 (499) 789-6423

Подпись В.А. Белова удостоверяю,

Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ _____ / Васильев В.В. /

Белов Владимир Александрович
кандидат физико-математических наук
специальность 01.04.23 «физика высоких энергий»

Публикации:

1. J.B. Albert et al. (EXO-200 coll.)
Cosmogenic backgrounds to $0\nu\beta\beta$ in EXO-200
[arXiv:1512.06835](#) [JCAP 1604 \(2016\) no.04, 029](#)
2. D.Yu. Akimov et al.
Digital trigger system for the RED-100 detector based on the unit in VME standard
[J.Phys.Conf.Ser. 675 \(2016\) no.1, 012011](#)
3. D.Yu. Akimov et al. (RED-100 coll.)
Observation of delayed electron emission in a two-phase liquid xenon detector
[JINST 11 \(2016\) no.03, C03007](#)
4. D.Yu. Akimov et al.
Performance of Hamamatsu R11410-20 PMTs under intense illumination in a two-phase cryogenic emission detector
[JINST 11 \(2016\) no.12, P12005](#)
5. D.Yu. Akimov et al.
Test of SensL SiPM coated with NOL-1 wavelength shifter in liquid xenon
[arXiv:1704.01478](#) [JINST 12 \(2017\) no.05, P05014](#)
6. Д.Ю. Акимов и др. (колл. РЭД-100)
Очистка жидкого ксенона электроискровым методом для использования в двухфазных эмиссионных детекторах
[ПТЭ №6 2017](#)
7. J.B. Albert et al. (EXO-200 coll.)
Search for neutrinoless double-beta decay with the upgraded EXO-200 detector
[arXiv:1707.08707](#) [Phys.Rev.Lett. 120 \(2018\) no.7, 072701](#)
8. D.Yu. Akimov et al. (COHERENT coll.)
Observation of coherent elastic neutrino-nucleus scattering
[arXiv:1708.01294](#) [Science 357 \(2017\) no.6356, 1123-1126](#)
9. J.B. Albert et al. (nEXO coll.)
Sensitivity and discovery potential of nEXO to neutrinoless double beta decay
[arXiv:1710.05075](#) [Phys.Rev. C97 \(2018\) no.6, 065503](#)
10. M. Jewell et al. (and nEXO coll.)
Characterization of an ionization readout tile for nEXO
[arXiv:1710.05109](#) [JINST 13 \(2018\) no.01, P01006](#)
11. Д.Ю. Акимов и др.
Упругое когерентное рассеяние нейтрино на атомном ядре – недавно обнаруженный тип взаимодействия нейтрино низких энергий
[УФН т.189 №2 \(2019\)](#)
12. D. Akimov et al.
Fast component re-emission in Xe-doped liquid argon
[arXiv:1906.00836](#) [JINST 14 \(2019\) no.09, P09022](#)
13. G. Anton et al. (EXO-200 coll.)
Search for neutrinoless double-beta decay with the complete EXO-200 dataset
[arXiv:1906.02723](#) [Phys.Rev.Lett. 123 \(2019\) no.16, 161802](#)
14. Д.Ю. Акимов и др. (колл. РЭД-100)
Комплексный метод подготовки ксенона для использования в качестве рабочей среды двухфазного эмиссионного детектора РЭД-100
[ПТЭ №4 2019](#)
15. D.Yu. Akimov et al. (RED-100 coll.)
First ground-level laboratory test of the two-phase xenon emission detector RED-100
[arXiv:1910.06190](#) [JINST 15 \(2019\) no.2 P02020](#)