

**Отзыв научного руководителя
на диссертацию Чернова Василия Геннадьевича
«Разработка распределенной системы сбора данных и анализ формы
импульса событий на установке “Троицк ню-масс”»**

Исследование свойств нейтрино - одна из самых методически сложных задач в современной физике элементарных частиц. Несмотря на почти вековую историю исследований, многие параметры этой частицы остаются неизвестными. Установка «Троицк ню-масс» создавалась для поиска массы электронного нейтрино, и на ней были получены результаты, до недавнего времени являвшиеся лучшими в мире. С 2010 года эксперимент был перенаправлен на поиск стерильных нейтрино с массами до 6 кэВ. В «Троицк ню-масс» исследуется форма спектра электронов, образующихся при распаде трития. По искажениям этой формы можно судить как о массе электронного нейтрино, так и о примеси стерильных нейтрино в электронном. Основную сложность в данном эксперименте представляет точный учет всех событий и правильная оценка числа просчетов - неучтенных событий. Система сбора данных эксперимента создавалась в 1990-е годы и была рассчитана на измерения вблизи граничной энергии бета-спектра, где скорость счета не превышает нескольких герц. В области, интересной для поиска стерильных нейтрино, скорость счета может достигать десятков килогерц. По этой причине для проведения эксперимента требовалась новая методика сбора данных, а также новый метод анализа наложенных сигналов.

Василием Черновым была оперативно разработана новая система сбора данных на установке. Ключевая особенность этой системы – распределенная архитектура программного обеспечения и независимая работа различных компонент системы: стойки детектора, высоковольтной стойки и пульта управления. Каждая из подсистем запускается (и поддерживается в активном состоянии) независимо друг от друга. Взаимодействие между различными компонентами осуществляется на основе специального протокола, позволяющего одновременно передавать произвольный структурированный текстовый заголовок и бинарные данные. Разработанный протокол оказался очень удобен как для передачи, так и для хранения данных, вследствие чего удалось достигнуть высокой производительности системы. Распределенные асинхронные системы такого рода до недавнего времени практически не использовались в физике частиц, но встречались и продолжают использоваться в промышленности. Диссертация содержит ряд оригинальных решений, которые могут внести значимый вклад в развитие данной области. В рамках эксперимента «Троицк ню-масс» распределенная система позволила не только существенно модернизировать процесс сбора данных, без замены аппаратного обеспечения стойки детектора и системы управления высоким напряжением, но и использовать несколько разных наборов электроники, таких как плата непрерывной оцифровки и прототип электроники детектора TRISTAN. Кроме серверов для управления высоковольтной стойкой и различными системами сбора данных с детектора, был создан графический интерфейс пульта управления экспериментом и инструментарий для просмотра данных.

Вторая часть диссертации посвящена обработке наложенных сигналов при непрерывной оцифровке. В процессе моделирования эксперимента по поиску стерильных нейтрино стало очевидно, что одним из определяющих вкладов в общую систематическую ошибку является неопределенность мертвого времени системы регистрации. В существующей электронике время формирования сигнала составляет примерно 6 мкс, что при загрузке в несколько десятков кГц

приводит к существенному мертвому времени. Кроме того, вследствие небольших (около 0.05 мкс) неточностей в определении мертвого времени возникает фантомный сигнал, имитирующий наличие стерильного нейтрино. Присутствует обратный выброс сигнала с длиной до 15 мкс, что приводит к некорректному определению амплитуды близких сигналов и вносит дополнительные систематические погрешности. Василий Чернов проделал масштабную многоэтапную работу: по тестированию платы оцифровки, разработке программного обеспечения для считывания формы сигнала, обработке сигнала (разделению наложений и определению амплитуды событий по их форме), разработке системы эффективного хранения данных. В диссертации приведен сравнительный анализ различных подходов к определению наложений и представлен наилучший алгоритм, который позволяет эффективно разделять сигналы с шириной около 6 мкс при расстоянии по времени между ними больше 1 мкс и корректировать деформацию амплитудного спектра. Результаты этой работы позволяют повысить максимальную скорость счета с 5-10 кГц до 40-50 кГц, если это будет нужно в эксперименте. Кроме того, совместное использование разработанной Василием технологии и временного анализа результирующих сигналов позволило на порядок уменьшить систематическую ошибку, связанную с неточностью мертвого времени. Технология является достаточно гибкой и может быть использована не только в эксперименте «Троицк ню-масс», но также и в других экспериментах, где проводится непрерывная оцифровка сигнала.

Василий Чернов отлично справился с порученными ему задачами по разработке и реализации систем сбора данных и программы для обработки сигналов. Также он принял самое деятельное участие в дежурствах на установке во время сеансов измерений и в целом внес существенный вклад в работу эксперимента и во все полученные в нем результаты. По результатам работы подготовлено пять публикаций.

Считаю, что диссертационная работа Василия Чернова «Разработка распределенной системы сбора данных и анализ формы импульса событий на установке “Троицк ню-масс”» является полноценным научным трудом. Представленные в ней результаты являются значимыми как для эксперимента «Троицк ню-масс», так и для развития методов экспериментальной физики в целом. Работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

10.12.2019

Научный руководитель:

к.ф.-м.н.,
с.н.с. ЛМЯФ МФТИ,
с. н. с. ОЭФ ИЯИ РАН (по совместительству)

Нозик А. А.

Подпись Нозика А.А. заверяю.
Специалист по кадрам МФТИ

Михайлова Л.М.