

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук профессора кафедры №11 Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» Григорьева Владислава Анатольевича на диссертацию Ладыгина Евгения Александровича «Разработка и создание регистрирующей электроники адронного торцевого калориметра установки ATLAS для экспериментальных исследований на LHC», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

115409, г. Москва, Каширское ш., 31. т. +7 499 324-87-66

Совсем недавно на установке ATLAS на ускорителе LHC в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева, Швейцария) было сделано фундаментальное открытие в современной физике – экспериментальное обнаружение и определение массы бозона Хиггса – переносчика взаимодействий универсального поля Хиггса. Это стало возможным благодаря труду более тысячи исследователей, инженеров и техников, создавших уникальную установку ATLAS – самую большую и самую современную установку в мире. Эта установка сама состоит из большого набора детекторов, каждый из которых по-своему уникален.

Диссертационная работа Е.А.Ладыгина посвящена разработке и созданию одного из детекторов установки ATLAS, а именно уникальному жидкоаргоновому калориметру. Разработка и создание аппаратуры эксперимента мирового масштаба полностью подтверждает актуальность и необходимость проведенной автором работы.

Согласно последней инструкции ВАК «оппонент на основе изучения диссертации и опубликованных работ по теме диссертации представляет письменный отзыв на диссертацию, в котором оцениваются актуальность избранной темы, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна, а также дается заключение о соответствии диссертации критериям ВАК».

Что касается актуальности, то она подтверждена вышесказанным. Собственно в задачу оппонента, если выражаться не канцелярским, а нормальным языком, входит анализ работы с точки зрения, насколько эта работа нова и оригинальна, насколько она самостоятельна, и достаточно ли объема и качества проделанной работы для присуждения соискателю искомой степени.

Название диссертационной работы точно отражает ее суть. Автором была разработана комплексная система электроники считывания сигналов с примерно пяти с

половиной тысяч каналов калориметра, начиная от электроники съема сигналов непосредственно с ячеек калориметра и кончая системой выработки аналогового триггера для управления установкой ATLAS.

Естественно, что система электроники однозначно зависит от устройства калориметра, которое кратко описано автором в первой главе.

При разработке отдельных узлов электроники автор широко пользовался программами моделирования отдельных узлов. Поэтому сразу же перед автором встал вопрос – какова форма сигнала, снимаемого с ячейки калориметра. Для ответа на этот вопрос необходимо знать скорость дрейфа электронов в жидком аргоне в зависимости от напряженности электрического поля. К моменту проведения работы в этом вопросе не было ясности – существовало два набора данных, существенно отличающихся друг от друга. Поэтому автором (совместно с соавторами) были проведены независимые измерения, результаты которых хорошо совпали с опубликованными данными А.Калинина и В.Вальковяк. К сожалению, данные ATLAS не были опубликованы, хотя независимое подтверждение одного из двух результатов, расходящихся между собой, представляет самостоятельную научную ценность. Расчетная форма сигнала, снимаемого с детектора, была положена в основу компьютерного моделирования схемы предварительного усилителя. Все это также приводится в первой главе диссертации.

На основе конструкции самого калориметра была разработана архитектура построения универсальной системы регистрации и считывания сигналов, описанная во второй главе. Здесь сформулированы основные требования к электронной системе считывания информации, расчетные значения радиационных полей, в которых будет работать аппаратура.

Полная схема системы электроники считывания информации с торцевого адронного калориметра ATLAS состоит последовательно из следующих основных элементов: предварительного усилителя (8-канальный чип), предварительного формирователя сигнала для согласования сигналов от предварительных усилителей с основным формирователем (чип на четыре канала), основного формирователя, окончательного модуля считывания FEB и устройства TDB для передачи сигналов в триггерную систему установки ATLAS. Подробный анализ схемотехники и исследования основных параметров перечисленных устройств приводятся в главах три – семь.

При описании устройства и работы предварительного усилителя, схемотехника которого оригинальна, а параметры полностью соответствует требованиям установки ATLAS, автором хорошо и правильно обоснован выбор технологии MESFET на основе арсенида галлия. Действительно, арсенид галлия имеет очевидное преимущество перед

кремнием – поскольку при низкой температуре (а предварительный усилитель установлен непосредственно на калориметре и работает при температуре жидкого аргона - примерно 90 градусов Кельвина) подвижность электронов в арсениде галлия существенно выше, чем в германии и кремнии, что имеет существенное значение с точки зрения скоростных характеристик схемы. Кроме того арсенид галлия более устойчив к радиационным повреждениям, что также очень важно при долговременной работе в больших радиационных полях ускорителя ЛНС. Схема предварительного усилителя после определения основных принципов построения (каскадная схема, применение защитных диодов и т.п.) была спроектирована и ее работа промоделирована программно, как это и положено делать при разработке современных микросхем. Естественно, что готовые микросхемы затем подвергались циклу испытаний, подтвердивших правильность выбранных решений.

Следует отметить, что конкретное схемотехническое решение полностью оригинально, поскольку устройство предназначено для работы с конкретным детектором в конкретных условиях и должно удовлетворять конкретным и четко сформулированным требованиям эксперимента. Существуют достаточно большой набор универсальных подходов и приемов, но не существует универсальных решений. Поэтому, кстати, невозможно прямое сравнение с существующими аналогами - они неприменимы в данных конкретных условиях. Единственным критерием правильности принятого решения остается его соответствие предъявляемым требованиям, что прекрасно подтверждено опытом многолетней эксплуатации устройства в эксперименте.

Надо отметить, что исследования радиационной стойкости – это процедура, которую обычно проводят отдельно. Здесь автором применен оригинальный метод - моделирование радиационной стойкости микросхемы компьютерной программой PSPICE. Поскольку результаты компьютерного моделирования хорошо совпали с результатами прямых измерений, можно констатировать, что автором предложен очень важный метод прогнозирования радиационной стойкости микросхем, позволяющий быстро предсказывать результаты радиационного воздействия на микросхемы без длительных испытаний. Это в особенности актуально для микросхем с пониженной стойкостью, так как позволяет выбраковывать неудовлетворительные решения без длительных испытаний в нейтронных пучках реакторов. Я полагаю, что этот метод станет еще более актуальным при переходе к пучкам большей светимости, чем сейчас.

Следующим из элементов системы считывания информации был предварительный формирователь, основной функцией которого, помимо небольшого усиления, являлась локальная компенсация времени нарастания сигналов от отдельных ячеек калориметра,

поскольку величины эффективной емкости отдельных ячеек меняются от 24 до 410 пФ, что приводит к большому разбросу сигналов от отдельных ячеек как по форме, так и по амплитуде. После тщательного анализа работы схемы был выбран новаторский для схем подобного рода метод компенсации полюса нулем. Сам по себе этот метод не нов, но в устройствах подобного рода применен впервые. Разработанные и изготовленные гибридные схемы прошли несколько циклов всесторонних испытаний – на специальном стенде от генератора в разных вариантах (отдельно и в соединении с последующим модулем) и на тестовом пучке ЦЕРН с реальными сигналами от частиц. Сигналы электронов с энергией 119 ГэВ имели разброс времени нарастания всего $\pm 0,1$ нс, что вполне удовлетворяет требованиям эксперимента.

Особо следует остановиться на тщательности проработки схемы. Помимо традиционного моделирования было также проведено моделирование схемы относительно процесса самовозбуждения. Анализ проводился для обоих каскадов формирования отдельно, так как они не охвачены обратной связью. Результаты моделирования оказались более чем удовлетворительными, что впоследствии было подтверждено опытом эксплуатации.

Я подробно остановился на оценке проделанной Е.А.Ладыгиным работы по двум первым элементам системы по двум причинам:

- от их качества зависит вся работа калориметра (качество получаемой информации);

- схемные решения полностью оригинальны и решающая роль в их разработке принадлежит автору;

- подробному описанию процесса разработки, критического анализа из работы, моделированию схем, моделированию функций откликов, форм сигналов, уровня шумов, а также устойчивости к самовозбуждению и радиационной стойкости посвящено более половины содержания диссертации.

Основной формирователь сигналов (глава 5) выполняет функции формирования сигналов заданной формы и длительности и играет большую роль в общей электронной системе калориметра, поскольку восстановление сигналов в калориметре осуществлялось дискретно по пяти точкам на сигнале. Этот формирователь (по существу полосовой фильтр) вполне оригинален и широко использовался в предварительных экспериментах и для испытания отдельных электронных устройств, но не вошел в основную конструкцию калориметра, поэтому я на нем подробно не останавливаюсь. Хотя основной формирователь и обладал всеми необходимыми характеристиками, но в самом

калориметре был заменен на четырехканальные твердотельные микросхемы для экономии объема и энергии.

В разработанную автором электронную систему входят еще два важных элемента – модуль считывания и оцифровки сигналов и модуль передачи триггерных сигналов. Суммарно все пять элементов образуют единую систему электронных каналов от считывания сигнала с детектора до выработки триггерного сигнала для передачи в общую триггерную систему ATLAS.

Разработка модуля считывания сигналов в основном свелась к адаптации универсального модуля FEB установки ATLAS к конкретным параметрам торцевого калориметра. Он описан автором очень кратко, поскольку является довольно простым техническим решением с конкретными (варьируемыми) параметрами.

Оконечный модуль цепи электронных каналов – это модуль TDB, передающий триггерные сигналы в триггерную систему установки ATLAS. Хотя схемотехнически он не очень сложен, но в процессе его разработки автор продемонстрировал практически все свои навыки – моделирование при помощи современного программного обеспечения, экспериментальные навыки и навыки анализа результатов с использованием достаточно сложного математического аппарата.

В принципе, перечисленного выше объема и качества работы вполне хватает для качественной кандидатской диссертации. Однако диссертация дополнена интересными главами. В восьмой главе приведена интересная модель трехмерной ячейки калориметра, которая показала свою практическую ценность при объяснении природы возникающих на уровне нескольких миллигерц ложных срабатываний калориметра. Вообще говоря, редкие ложные сигналы в силу их спонтанного и редкого возникновения наиболее трудны для понимания и объяснения, поэтому предпринятая попытка объяснить их наличием остаточной влаги является заслуживающей внимания.

Наконец, в заключение автор описывает результаты эксперимента на пучках протонов высокой интенсивности, который нацелен на оценку работоспособности калориметров при будущих прогнозируемых светимостях LHC. В частности автором показано, что деградации линейности отклика не происходит, но влияние пространственного заряда ионов в ячейках калориметра должно быть учтено при анализе данных.

В целом диссертация оставляет очень хорошее впечатление. Из самого содержания, из подходов к проблемам и методов их решений видно, что автор – это опытный и зрелый исследователь, и уровень его знаний и умений полностью адекватен поставленной

сложной задаче. Создание автором элементов такой уникальной установки как ATLAS говорит само за себя.

Мелкие недостатки, которые наличествуют в диссертации, не заслуживают серьезного внимания. Тем не менее, автору стоило бы строже относиться к некоторым формулировкам. Например, на стр.11 фигурирует выражение «ионизированный заряд», «измерения в тепле» стр.42. Таких погрешностей очень немного. Не для всех величин и не на всех графиках указаны ошибки измерения (например, Рис.1. 6 и 1.7 стр. 14, где приводятся данные по скорости дрейфа электронов). Отмеченные недочеты не влияют на качество работы в целом.

Представленная Е.А.Ладыгиным диссертация – это качественная квалификационная работа, полностью удовлетворяющая всем требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики – а именно разработку научной аппаратуры и приборов для физических исследований, вносящие значительный вклад в научно - технический прогресс и содержащие оригинальные технические решения. Основные результаты подробно изложены в более чем десятке статей из перечня ВАК. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Исходя из сказанного я считаю, что Е.А.Ладыгин заслуживает присвоения ему искомой степени кандидата технических наук за разработку и создание регистрирующей электроники адронного торцевого калориметра установки ATLAS для экспериментальных исследований на LHC.

Доктор физ.-мат. наук, профессор НИЯУ МИФИ,
Заслуженный деятель науки РФ

13.01.2015

В.А.Григорьев

Подпись удостоверен
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ



В.С. Младинин