

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук ведущего научного сотрудника ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» Михайлова Юрия Викторовича

на диссертационную работу 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.

142281, Московская область, г. Протвино, площадь Науки, д.1.

т. +7 4967 71-28-24, e-mail: [fgbu@ihep.ru](mailto:fgbu@ihep.ru)

Диссертационная работа Ладыгина Евгения Александровича посвящена разработкам и исследованиям, связанным с созданием жидкоаргонового торцевого калориметра (HEC) установки ATLAS на LHC. В этих работах автор принимал самое непосредственное участие, в том числе в создании регистрирующей электроники HEC, в развитии методики и принципов построения калориметра и получении результатов экспериментальных исследований.

Экспериментальная установка ATLAS – новейшая экспериментальная установка, созданная на Большом Адронном Коллайдере в Женеве, Швейцария. Установка ATLAS, как и CMS, была построена для решения таких серьезных физических проблем как поиск бозона Хиггса, что говорит о научной новизне и важности решаемых диссертантом задач.

Для обеспечения требований, предъявляемых к установке ATLAS, необходимо было создать быстродействующий калориметр с хорошим энергетическим разрешением. Известно, что быстродействие и высокое разрешение любого детектора во многом определяется его электроникой считывания. Дополнительные требования при работе на LHC возникают из-за большой интенсивности пучков и их высокой энергии. Детекторы работают в сильных магнитных полях и при высокой радиационной нагрузке. То же относится к регистрирующей электронике, создание которой – задача сложная и актуальная, имеющая высокую научную ценность.

Кроме участия в решении основной задачи – создание калориметра и сопутствующей электроники – перед диссертантом стояли следующие задачи:

- разработать методы совместного электронного моделирования HEC-калориметра и усилительных устройств к нему для изучения отклика детектора и формы сигнала;
- создать высоконадежную радиационно-стойкую электронику регистрации сигналов калориметра HEC;
- разработать методы моделирования устойчивости усилительных каскадов, используемых в регистрирующей электронике HEC, с помощью программы PSPICE;
- разработать методы испытания этой электроники на надежность;

- обеспечить возможность испытания модулей жидкоаргоновых калориметров ATLAS при высокой интенсивности пучка.

Значимость и достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается успешной работой созданной с участием автора уникальной установки ATLAS, включая и НЕС-калориметр. Установка эффективно и практически безотказно работает на ЛНС уже несколько лет, а обработка накопленной ею за это время экспериментальной информации привела к открытию фундаментальной важности – обнаружению бозона Хиггса.

Необходимо заметить, что при создании регистрирующей электроники для калориметра автором был применен известный метод компенсации полюса нулем, позволивший исключить зависимость скорости нарастания сигналов от эффективной емкости ячеек калориметра. Данный метод давно используется в некоторых электронных устройствах, но столь массовое (~4000 каналов) его применение осуществлено впервые. Конкретная реализация этого метода очень подробно описана в диссертации и, наравне с разработанными соискателем способами моделирования калориметра и усилительных устройств, как и методики испытания их надежности, может найти широкое практическое применение при создании аппаратуры для экспериментальных исследований, а также и в других областях науки и техники.

Диссертация состоит из введения, девяти глав и заключения. В конце приводится список цитируемой литературы, включая авторские работы. В диссертацию включено 78 рисунков, четыре таблицы и одна фотография. Стоит отметить объем диссертации в 109 страниц, что, на мой взгляд, характеризует масштаб проделанной соискателем научно-исследовательской работы. Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи, поставленные перед диссертантом, отмечается научная новизна данной работы, приводятся защищаемые положения и практическая ценность полученных результатов. В тексте диссертации последовательно и подробно описаны разработанные диссертантом методы моделирования, созданные электронные узлы и способы их испытаний на надежность и радиационную стойкость.

На основе представленного в диссертационной работе материала можно уверенно заключить, что автор квалифицированно решил все поставленные перед ним задачи, в том числе:

- участвовал в создании НЕС-калориметра и провел совместное компьютерное моделирование калориметра и усилительных устройств к нему, что позволило добиться требуемых характеристик электроники уже на этапе ее проектирования и значительно сэкономить средства и время при ее производстве и тестировании;
- внес существенный вклад в создание электроники для калориметра:
  - участвовал в разработке и тестировании высоконадежного быстродействующего малошумящего предварительного усилителя;

- разработал предварительный формирователь, позволяющий формировать не зависящие от емкости детектирующей ячейки сигналы от калориметра, что значительно упростило выработку триггерных сигналов и повысило качество триггерного канала;
- разработал гибридный прототип формирователя сигналов с хорошими параметрами, который использовался в тестах усилителей и модулей калориметра;
- разработал надежный модуль передачи триггерных сигналов.
- В рамках этих работ им также были разработаны:
  - метод моделирования поведения характеристик твердотельного GaAs-усилителя при воздействии на него радиационного поля. Данная методика, вне всякого сомнения, может быть полезна для разработчиков радиационно-стойких электронных узлов;
  - метод электронного моделирования ячейки калориметра. С помощью такой модели сравнивались результаты измерений с результатами моделирования;
  - способ моделирования с помощью программы PSPICE устойчивости усилительных каскадов к самовозбуждению;
  - метод представления ячейки калориметра сложной  $R-C$  структурой, который позволил смоделировать ложные сигналы, обнаруженные в калориметре во время работы на LHC;
  - методика исследования созданной электроники на безотказность ее работы и устойчивость к радиационным воздействиям.
- С помощью электроники, разработанной для пучковых тестов в ЦЕРН и адаптированной соискателем к условиям работы на ускорителе У-70 ГНЦ РФ ИФВЭ, успешно проведен эксперимент по изучению поведения калориметрических модулей HEC, EMEC и FCAL при высокой интенсивности пучка протонов.

Следует все же отметить некоторые недостатки, обнаруженные в диссертационном материале:

1. Некоторые важные моменты в тексте изложены не так подробно, как хотелось бы. Так, например, в главе 2 описывается примененный метод увеличения динамического диапазона за счет использования трех каналов усиления основного формирователя. Но здесь не объясняется, каким образом происходит сшивка данных от разных каналов. Видимо, автор полагал, что данный текст полезен только экспертам, работающим в экспериментальной физике, и они могут с лёгкостью разобраться сами.
2. Ссылки на литературу приведены в хронологическом порядке, что затрудняет опознавание авторских публикаций в тексте.
3. Не для всех величин, приведенных в тексте, и не на всех графиках указаны ошибки измерений. Так, на рисунке 1.6 приведена очень важная характеристика – скорость дрейфа электронов в жидком аргоне,

но не указана точность, с которой были сделаны эти измерения.

4. В заключении, после слов «Высокая разрешающая способность калориметра», хорошо было бы указать величину этого разрешения.

Несмотря на некоторые неточности в тексте и отмеченные недостатки, диссертационная работа Ладыгина Е.А. производит очень хорошее впечатление. Указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов. Диссертант серьезно подошел и к проработке поставленных задач, и к их решению. Автором созданы достаточно сложные электронные узлы и проведено их исследование. Грамотное построение компьютерных моделей позволило успешно реализовать идеи в соответствующих устройствах.

Обязательно необходимо отметить ценность предложенных методов моделирования популярной программой PSPICE устойчивости к самовозбуждению и радиационной стойкости усилительных устройств. Это показывает, что автор глубоко понимает проблемы, возникающие при создании аналоговой электроники, и знает, как их решать. Не вызывает сомнений также практическая значимость предложенных соискателем методов и подходов к разработке подобной электроники.

**Заключение:**


Диссертационная работа Е.А.Ладыгина выполнена на высоком научном уровне. Приведенные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение.

Диссертация написана грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа отвечает всем требованиям ВАК, а ее автор - Ладыгин Евгений Александрович - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Ведущий научный сотрудник  
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский Институт»,  
доктор физико-математических наук

« 24 » декабря 2014 г.

 Ю.В.Михайлов

Подпись Михайлова Юрия Викторовича удостоверяю  
Ученый секретарь ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский Институт»

« 24 » декабря 2014 г.

 Н.Н.Прокопенко

