

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»**

**Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)**  
14.610.21.0005

**Название проекта**

Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц

**Тематическое направление**

Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

**Исполнитель**

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный научный центр Российской Федерации - Институт физики высоких энергий"

**Цели и задачи исследования**

Установка АТЛАС предназначена для исследования фундаментальных свойств материи при сверхвысоких энергиях на Большом адронном коллайдере в Европейском центре ядерных исследований, ЦЕРН, Женева, Швейцария. Основные цели эксперимента АТЛАС – поиск и исследование хиггсовского бозона, суперсимметричных частиц, новых тяжелых векторных бозонов, эффектов за пределами стандартной модели.

Задача, на решение которой направлен реализуемый проект: разработка новых детекторов установки АТЛАС и модернизация существующих детекторов; компьютерное моделирование, направленное на оценку возможностей регистрации редких процессов с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС, возможностей изучения парного образования калибровочных бозонов при взаимодействиях протонов сверхвысоких энергий; совершенствование специального программного обеспечения установки АТЛАС для обеспечения её эффективной работы в условиях планируемой повышенной светимости протон – протонных столкновений на БАК.

Цель проекта: Создание, испытания и лабораторный запуск компонентов детекторных устройств, предназначенных для использования в составе модернизируемых детекторных установок (супердетектора АТЛАС) Большого адронного коллайдера, в интересах приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и обеспечения возможности проведения физических экспериментов при повышенных уровнях светимости коллайдера, в рамках реализации сотрудничества Российской Федерации с Европейской организацией по ядерным исследованиям (ЦЕРН).

**Актуальность и новизна исследования**

Уровень актуальности и новизны ПНИЭР определяется прежде всего следующим.

Большой адронный коллайдер (БАК), расположенный в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН), есть и останется в течение долгого времени ускорителем, который обеспечивает самую высокую энергию протон-протонных столкновений, что уже само по себе гарантирует новизну и актуальность получаемых с его помощью экспериментальных результатов. В 2012 эксперимент АТЛАС уже объявил об открытии новой частицы, которая

соответствует бозону Хиггса Стандартной Модели (СМ), тем самым открыв новую эру в нашем понимании происхождения массы и материи. Дальнейшие планы эксперимента АТЛАС уверенно просматриваются вплоть до 2030 года. Они связаны с повышением светимости коллайдера. Повышение светимости на порядок позволит резко продвинуться в измерениях характеристик хиггсовского бозона и осуществить важнейшие эксперименты по поиску новых явлений, например, суперсимметрии. Для реализации этой программы необходима значительная модернизация ряда систем установки. Российскими специалистами предложен ряд проектов по модернизации установки с существенным вкладом российских институтов. Участие российских физиков в модернизации установки АТЛАС и в экспериментах на ней позволит сохранить позиции России в авангарде экспериментальной физики элементарных частиц. Уровень новизны разработанных и созданных лабораторных и экспериментальных образцов компонентов детекторных устройств супердетектора АТЛАС, научных и технологических решений, применяющихся методик соответствует мировому.

### **Описание исследования**

В соответствии с Техническим заданием, рамками проекта предусмотрены разработка и исследования научно-технических решений для создания следующих усовершенствованных компонентов детекторных устройств супердетектора АТЛАС:

- камеры «новых малых колёс» – НМК (мюонные детекторы), состоящие из тонкозаязорных газовых ионизационных камер (ТЗК) и микроячеистых газовых ионизационных камер (МИК);
- дрейфовые трубки малого диаметра (ДТМ) и мюонные камеры на их основе для установки в зонах опор супердетектора АТЛАС;
- электронная система жидкоаргонового калориметра – ЭЖАК;
- передний радиационно стойкий миникалориметр – РСМК;
- сцинтилляционные счетчики для «горячих зон» установки – СЦС;
- электронная система сцинтилляционного калориметра – ЭСЦК;
- система цезиевой калибровки сцинтилляционного калориметра – ЦКСК.

Перечисленное оборудование способно обеспечить возможность проведения экспериментальных исследований на пучках БАК после его реконструкции, когда его светимость достигнет уровня  $5 \times 10^{34} \text{ см}^2 \text{с}^{-1}$ .

Для контроля технических параметров новых усовершенствованных компонентов детекторных устройств, предусмотрена разработка контрольного оборудования и стендов, в частности стенда проверки ТЗК, стенда проверки МИК, стенда контроля камер на основе рентгеновского сканера, стенда испытаний сцинтилляционных счетчиков для "горячих зон".

В результате разработки и изготовления лабораторных и экспериментальных образцов вышеперечисленных усовершенствованных компонентов детекторных устройств супердетектора АТЛАС, их экспериментальных исследований, достигаются следующие характеристики:

- ТЗК обеспечивают определение параметров треков заряженных частиц в режиме реального времени и сохраняют работоспособность в условиях фонового излучения вплоть до частоты событий  $15 \text{ кГц/см}^2$ ;
- МИК имеют угловое разрешение около  $0,2^\circ$  и пространственное разрешение (в одной плоскости) – 70 мкм;
- ДТМ обеспечивают пространственное разрешение камер 100 мкм, работая на аргон-углекислотной смеси в пропорции 93 : 7, имеют встроенную систему контроля плоскостности, имеют необходимые технологические вырезы для прохождения оптических лучей глобального контроля взаиморасположения трековых камер мюонного спектрометра и относительной юстировки с соседними камерами;
- ЭЖАК позволяет определять показатели «поперечной энергии» для каждой супер-ячейки калориметра каждые 25 нс и передавать эти данные в триггер первого уровня калориметра;
- разрешение по энергии  $E$  частицы у РСМК - не хуже  $1\%+10\%/E^{1/2}$ , временное разрешение – 10 нс;
- скорость ухудшения параметров сцинтиллятора СЦС не менее чем в 1,5 раза меньше, чем у первоначально установленного и используемого в настоящее время сцинтиллятора; как следствие, отклик сцинтиллятора в наиболее напряженном режиме работы должен уменьшаться не более чем в два раза за время сеанса проведения эксперимента на супердетекторе;
- ЦКСК позволяет обеспечивать суммарную относительную ошибку калибровки калориметра с помощью всех систем не более 1%, при этом вклад цезиевой системы в эту ошибку не превышает 0,5%. Система калибровки обеспечивает контроль всех 192 модулей калориметра в период между сеансами экспериментов на БАК.

Важную часть работ по проекту представляет собой компьютерное моделирование, направленное на оценку возможностей регистрации редких сигналов с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС, возможностей изучения парного образования калибровочных бозонов при взаимодействиях протонов сверхвысоких энергий, а также совершенствование специального программного обеспечения (СПО) для анализа данных.

### **Результаты исследования**

В 2016г работы по проекту в основном были направлены на разработку и изготовление экспериментальных образцов компонентов усовершенствованных детекторных устройств супердетектора АТЛАС, их комплексные испытания и экспериментальное исследование их характеристик, совершенствование специального программного обеспечения. Результаты следующие:

- По камерам НМК выполнена сборка и испытания лабораторных образцов ТЗК в количестве 2 шт. и модулей МИК в количестве 4 шт.; образцы соответствуют утвержденным техническим требованиям. Отработана технология сборки квадруплетов на основе МИК и технология интеграции квадруплетов МИК с ТЗК.

Разработан и изготовлен РС для контроля камер МИК. Изготовлены и испытаны экспериментальные образцы ТЗК, которые испытаны с помощью РС.

- Разработаны программы и методики проведения испытаний экспериментальных образцов камер. Изготовлены экспериментальные образцы мюонных камер ДТМ в количестве 2 шт., проведены их испытания на герметичность и высоковольтную стабильность, проведены исследования их физических характеристик на космике.

- Разработана рабочая документация на варианты прототипа РСМК и изготовлен экспериментальный образец, который испытан в пучке частиц на ускорителе У-70 ИФВЭ.;

- Проведены исследования с облучением образцов СЦС в различных радиационных полях. Измерены оптические свойства облучённых образцов.

- Выполнена проверка работы электронных модулей ЦКСК, включённых в общую систему сбора информации адронного калориметра.

- Разработаны модули новой электроники ЖАК - предварительных формирователей электронных сигналов ЖАК и схем подключения цифрового управляющего триггерного модуля к каналу считывания торцевого калориметра. Выполнены радиационные испытания новой электроники ЖАК и сцинтилляционных калориметров, испытания партии экспериментальных образцов оптических кабелей для ЖАК с распечаткой рефлектограмм по каждому волокну.

- Разработан и реализован новый функционал программ для пакетного обновления данных с помощью интерфейса управления системы АГИС.

- Разработана система мониторинга прохождения задач в сети распределённых вычислений Грид.

- Выполнены модернизация СПО для прецизионного «офф-лайн» детектирования спорадических шумовых всплесков в каналах ЖАК; для тестирования РС и заключительной проверки методики управления РС, систем сбора и хранения информации, анализа и мониторинга данных; оптимизированы алгоритмы идентификации электронов в условиях возросшей загрузки ТДПИ; проанализированы возможности оптимизации алгоритмов трекинга во внутреннем детекторе с учетом данных, полученных на БАК после длительной остановки; оптимизированы алгоритмы отбора событий распада дважды тяжелых ( $B_c$ ) мезонов и тяжелых барионов; модернизированы алгоритмы поиска ТБХ в СПО по результатам моделирования; проведена оценка эффективности идентификации электронов в ТДПИ при загрузках, соответствующих светимости БАК после первой фазы его модернизации; выполнена оптимизация алгоритмов транспортировки трековой информации, включая параметры трека и их матрицу ошибок, между элементами трекового детектора, основанных на методе фильтра Кальмана; разработаны версии триггерных алгоритмов для В-физики с использованием данных быстрого трекинга.

## **Практическая значимость исследования**

Все цели и задачи ПНИЭР согласованы с международным сотрудничеством АТЛАС. Соответственно, все результаты ПНИЭР, нацеленные на создание, испытания и лабораторный запуск компонентов детекторных устройств установки АТЛАС, будут использованы для практической реализации в супердетекторе АТЛАС, адаптированной для работы при планируемой повышенной интенсивности (светимости) БАК. Повышение светимости на порядок позволит существенно продвинуться в измерениях физических характеристик и детальном изучении свойств хиггсовского бозона, изучении редких процессов, а также осуществить важнейшие эксперименты по поиску новых явлений, таких как изучение парного образования промежуточных векторных бозонов, свойств  $t$ -кварка, поиск экзотических частиц, суперсимметрии, дополнительных размерностей, распадов новых долгоживущих частиц, изучение CP-инвариантности в распадах beauty-мезонов.

Предусмотренное проектом существенное совершенствование специального программного обеспечения установки является залогом обеспечения эффективной работы установки АТЛАС в условиях планируемой повышенной светимости протон – протонных столкновений на БАК.

Новые технологии, разрабатываемые в рамках проекта, безусловно будут использованы также при создании новых и модернизации существующих физических установок, расположенных в российских центрах.

Разрабатываемые для установки АТЛАС новые детекторы и технологии несут в себе большой потенциал не только для фундаментальных исследований, но и для различных прикладных применений. Например, технология изготовления мюонных камер, изначально разработанная для АТЛАС, с успехом применима при изготовлении мюонных томографов на космическом излучении – перспективных приборов для сканирования и контроля грузов в автомобилях и больших транспортных контейнерах на пограничных переходах и таможенных терминалах, для систем безопасности на транспорте, для контроля ядерных материалов и отходов. Соответствующие предложения уже находятся в стадии разработки, в частности, в ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ "Курчатовский институт". Новые радиационно-стойкие детекторы, разрабатываемые в рамках данного проекта, имеют значительный потенциал для практического использования при регистрации потоков ионизирующих частиц в различных отраслях науки и техники.