

**Форма открытия (продления)
Проекта**

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института

_____/_____/_____
“ ____ ” _____ 202_ г.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ
ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

1. Общие сведения о проекте

1.1. Шифр темы - 02-2-1081-2009

1.2. Шифр проекта - 02-2-1081-1-2010/2025, 02-1-1081-2-2013/2025

1.3. Лаборатория – ЛЯП, ЛФВЭ, ЛИТ, ЛНФ, ЛТФ

1.4. Научное направление - Физика элементарных частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий

1.5. Наименование проекта - ATLAS. Модернизация установки и физические исследования на LHC

1.6. Руководитель(и) проекта - Бедняков В.А.

1.7. Заместитель(и) руководителя проекта – Елецких И.В., Чеплаков А.П.

2. Научное обоснование и организационная структура

2.1. Аннотация

Основная цель эксперимента ATLAS -- изучение протон-протонных столкновений при беспрецедентно высоких энергиях (7-14 ТэВ в с.ц.м.) на Большом адронном коллайдере. Физическая программа эксперимента включает в себя прецизионные измерения параметров Стандартной модели (СМ), а также исследования границ её применимости и призвана найти ответы на фундаментальные вопросы современной физики такие, как структура нуклонов, свойства топ-кварков, существование частиц темной материи, проявления квантово-гравитационных эффектов и дополнительных

пространственных измерений, наблюдения новых свойств известных фундаментальных взаимодействий.

Сотрудники ОИЯИ, как и ранее, планируют получить и опубликовать новые результаты в рамках каждого из основных направлений физической программы эксперимента ATLAS. Новые данные, которые будут набраны в столкновениях протонных пучков **высокой светимости**, позволят провести прецизионные наблюдения и измерения ряда редких физических явлений, получить информацию для более точного моделирования исследуемых процессов, расширить границы чувствительности к проявлениям новой физики за рамками СМ. Планируются исследования свойств тяжелых адронов, таких как нарушение СР-инвариантности в распадах B -мезонов, поиски новых состояний в распадных спектрах, измерения параметров экзотических пентакварковых и тетракварковых состояний, исследования физики топ-кварков и структуры протона и моделирование рождения очарованных и прелестных частиц. В рамках изучения физики бозона Хиггса будут продолжены работы над исследованием его рождения в ассоциации с топ-кварками и векторными бозонами, осуществлены новые измерения констант связи бозона Хиггса с частицами Стандартной модели. Планируется продолжение поиска рождения квантовых черных дыр в протон-протонных столкновениях в ТэВ-ной области энергий.

Будет продолжено активное участие в разработке и поддержке программного обеспечения (ПО) эксперимента. Эти работы, в частности, включают создание и поддержку баз данных эксперимента, разработку и поддержку ПО триггера детектора, работы по улучшению качества реконструкции и моделирования событий во всех подсистемах детектора и т.д.

Реализация физической программы High-Luminosity LHC (HL-LHC) будет иметь решающее значение для углубления нашего понимания фундаментальной физики. Ожидается, что выполненные на HL-LHC прецизионные и уникальные измерения многих параметров СМ останутся актуальными в течение десятилетий. Эти данные послужат своеобразными целеуказаниями (road map) для физической программы исследований на коллайдерах будущего. Без них невозможно будет правильное понимание экспериментальных данных этих новых коллайдеров.

Условия HL-LHC требуют беспрецедентных технологий детекторов с точки зрения радиационной стойкости, высокой и точной синхронизации треков и мощных триггеров. Чтобы справиться с этими задачами, коллаборация ATLAS реализует амбициозную программу модернизации. Группа ОИЯИ активно участвует в модернизации нескольких подсистем детектора ATLAS, внося значительный вклад в модернизацию мюонного спектрометра, жидкоаргонового калориметра и создание нового высокогранулярного временного детектора (HGTD).

2.2. Научное обоснование

Участие ОИЯИ в реализации физической программы эксперимента ATLAS

Международная коллаборация ATLAS была основана более 30 лет назад с целью постройки и запуска многоцелевой экспериментальной установки нового поколения, предназначенной для исследований фундаментальных свойств материи в протон-протонных столкновениях с энергией до 14 ТэВ на Большом адронном коллайдере. На данный момент коллаборация включает 2632 авторов и всего около 6000 участников из 187-ми институтов в 42-х странах. С момента создания коллаборации было спроектировано, изготовлено и испытано сложнейшее экспериментальное оборудование, достигнута высочайшая точность моделирования установки и происходящих в ней процессов. Это позволило в 2012 году совершить открытие новой частицы Стандартной

модели — бозона Хиггса и измерить ряд его свойств. В 2025 году участники эксперимента ALICE, ATLAS, CMS и LHCb были удостоены премии в области фундаментальной физики от Фонда премии Breakthrough Prize за «подробные измерения свойств бозона Хиггса, подтверждающие механизм нарушения симметрии генерации массы, открытие новых сильно взаимодействующих частиц, изучение редких процессов и асимметрии материя-антиматерия, а также исследование природы на самых коротких расстояниях и в самых экстремальных условиях на Большом адронном коллайдере ЦЕРН».

В ОИЯИ выполнен ряд работ и исследований, внесших определяющий вклад в полученные коллаборацией результаты. Этот перечень включает:

1. Изготовление, монтаж и настройку элементов всех основных подсистем детектора, в том числе в ходе модернизации установки:

а. Элементов мюонного спектрометра;

б. Элементов жидко-аргонного калориметра и элементов центральной части скинтилляционного калориметра;

в. Калибровка калориметров ATLAS и их подготовка к набору данных;

г. Участие в разработке системы контроля набора данных в рамках системы триггера ATLAS;

д. Участие в разработке и изготовлении синхронизирующего детектора высокого разрешения (HGTD);

2. Разработка и поддержка ряда важных составляющих программного обеспечения эксперимента:

а. Создание системы распределенных вычислений (ГРИД) в ОИЯИ и поддержка баз данных состояния детектора, баз данных событий и их мониторинга;

в. Разработка ПО триггерной системы детектора;

г. Разработка и поддержка ПО реконструкции и моделирования событий в различных подсистемах детектора, в т.ч. конфигурации алгоритмов реконструкции, быстрой симуляции отклика калориметра, настройка систем калориметра с использованием данных тестовых пучков, и т.д.;

3. Исследования в рамках физической программы эксперимента и их реализация в течение всех периодов набора данных (2009-2025):

а. Исследования физики бозона Хиггса, включая измерения сечений рождения бозона Хиггса в каналах рождения с калибровочными бозонами (Ф.Ахмадов); изучение рождения бозона Хиггса в процессе слияния глюонов и векторных бозонов (Е. Рамакоти), исследование Юкавского взаимодействия топ-кварков путем измерения ассоциативного рождения бозонов Хиггса с топ-кварками (И.Бойко, Н.Гусейнов, И.Елецких, А.Диденко, О.Доловова, А.Тропина);

б. Разработка теоретических моделей тяжелых калибровочных бозонов с массами порядка нескольких ТэВ и поиск их сигналов в конечных состояниях с парой лептонов (М.Чижов, В.Бедняков, И.Елецких); участие в поиске тяжелых бозонов, распадающихся на W/Z/H-бозон и гамма-квант (Е. Храмов); участие в поисках наблюдаемых проявлений суперсимметрии (В.Бедняков, Д.И.Казаков, А.В.Гладышев, Ю.А.Будагов, Д.И.Хубуа, Е.Храмов, С.Карпов, А.Солошенко); поиски квантовых черных дыр в протон-протонных столкновениях (С.Карпов, З.Карпова);

в. Исследования структуры протона, в том числе вклада внутреннего очарования и вклада поперечно поляризованных глюонов (Г.Лыкасов, В.Бедняков, А.Липатов);

г. Изучение свойств и спектров прелестных адронов и легких состояний, включая поиски и измерение свойств пентакварковых и тетракварковых состояний (Л.Гладилин, А.Васюков, И.Елецких), изучение парного резонансного рождения чармониев (И.Елецких, А.Диденко Л.Гладилин), изучение распадов B_c -мезонов (Л.Гладилин, Т.Любушкина), измерения дифференциальных сечений рождения прелестных и очарованных адронов (Л.Гладилин);

- д. Измерение ассоциативного рождения пар векторных бозонов с системой двух струй большой инвариантной массы (Е.Солдатов); измерение ассоциативного рождения Z-бозонов и тяжелых адронных струй (С.Турчихин);
- е. Измерение бозэ-эйнштейновских корреляций в событиях с большой множественностью треков (Ю.Кульчицкий, П.Терешко, Е.Плотникова);
- ж. Участие в контроле качества данных, измерение качества реконструкции различных типов объектов в детекторе (мюонов, электронов, фотонов, адронных струй) (С.Турчихин, Е.Солдатов);
- з. Разработка Монте-Карло генераторов (SANC, ReneSANCe), теоретическое описание экспериментально наблюдаемых процессов (Л.Калиновская, Е.Дыдышко, В.Ермольчик, С.Бондаренко).

Мотивация продолжения работ и исследований в рамках коллаборации ATLAS основывается на ключевых положениях долгосрочного плана развития ОИЯИ (дорожная карта ОИЯИ). В частности, этот план включает основные направления современного развития физики частиц и наиболее актуальные на данный момент проблемы этого направления. Несмотря на способность Стандартной модели с высокой точностью описывать наблюдаемые экспериментально явления вплоть до ТэВ-ных областей энергии, очевидно, что она не является замкнутой теорией, а представляет из себя лишь низкоэнергетическое приближение более общей теории, включающей гравитационное взаимодействие и предоставляющей описание физических явлений вплоть до планковских масс. Наиболее актуальные вопросы, ответы на которые не дает Стандартная модель, должны быть адресованы физическим исследованиям ближайшего будущего:

1. Существует ли новые фундаментальные явления в области энергий между масштабом электрослабого объединения (несколько сотен ГэВ) и планковским масштабом, определяющие границы применимости Стандартной модели? Существует ли энергетический масштаб объединения фундаментальных взаимодействий и каков он?
2. Какова природа возникновения масс элементарных частиц, какова их иерархии в Стандартной модели? Являются ли параметры Стандартной модели «тонко настроенными»?
3. Какова физическая природа темной материи и темной энергии, и существует ли возможность их исследования на ускорителях частиц?
4. Какова природа барионной асимметрии Вселенной?
5. Существуют ли дополнительные пространственно-временные измерения и связанные с ними взаимодействия и фундаментальные симметрии?

Помимо этого, крайне актуальными остаются задачи по исследованию структуры протонов при энергиях ЛНС. Эти уникальные энергии позволяют оставлять весьма значимым направление по изучению уже известных частиц Стандартной модели, в особенности таких массивных как топ-кварк и бозон Хиггса. Тщательное исследование этих объектов позволит не только уточнить их важные характеристики, но и приоткрыть путь за рамки Стандартной модели.

Ответы на эти и ряд связанных с ними вопросов является основной задачей физики элементарных частиц ближайшего будущего. Основные перспективные направления исследований связаны с ускорительной физикой с одной стороны (в том числе с увеличением энергий, а также точностью реконструкции и светимостей ускорителей) и с наблюдательной астрофизикой с другой стороны. Увеличение энергии ускорителей вплоть до сотен ТэВ сделает возможным прямые поиски новой физики на соответствующих масштабах. Увеличение светимости существующих ускорителей и повышение точности реконструируемых процессов делает возможным поиски проявлений новой физики посредством поправок к наблюдаемым явлениям, например, - константам связи и фазам взаимодействий частиц.

Планы участия ОИЯИ в проведении физических исследованиях в 2026-2030 гг.

В течение ближайших пяти лет основными направлениями деятельности группы ОИЯИ в рамках проекта ATLAS, помимо участия в модернизации самого детектора, будут следующие:

1. Участие в работах по эксплуатации и управлению экспериментальной установкой (M&O, Shifts, Common Operation Tasks);
2. Физические исследования (подготовка данных, анализ данных, моделирование, теоретическая поддержка);
3. Участие в разработке и поддержке программного обеспечения эксперимента.

Участие ОИЯИ в эксплуатации и управлении экспериментом ATLAS

Сотрудники ОИЯИ продолжают участвовать в работах по эксплуатации экспериментальной установки ATLAS. Эти работы включают участие в сменах на диспетчерских пунктах контроля и управления установкой, сменах дежурных специалистов, работах по контролю за качеством данных и т.д.

1. Планируется продолжить участие в управлении работой адронного сцинтилляционного калориметра (И.Минашвили).
2. Планируется продолжить участие группы ОИЯИ в эксплуатационных работах жидко-аргонного калориметра. Обязательства ОИЯИ включают ремонт и введение в строй блоков электроники, мониторинг качества каналов считывания, участие в сменах дежурных экспертов и т.д.
3. В ближайшие годы сотрудники ОИЯИ будут продолжать работы по поддержке распределенных вычислений для эксперимента ATLAS.
4. ОИЯИ планирует продолжить участие в работах по обеспечению безопасности на установке. Сотрудники ОИЯИ (В.Батусов, И.Костюхина, М.Шиякова) будут выполнять работы в качестве реководителей смен по обеспечению безопасности (SLIMOS, Shift Leader in Matter of Safety). Также они будут осуществлять работы по радиационной безопасности и контролю над соответствующим пропускным режимом в шахте установки ATLAS.

Участие ОИЯИ в физических исследованиях эксперимента ATLAS

В ближайшие годы планируется продолжение участия группы ОИЯИ во всех основных направлениях физической программы ATLAS. Анализ данных, набранных установкой в 2022-2025 гг. и планируемых к набору в дальнейшем, позволит значительно увеличить чувствительность к наблюдаемым параметрам или к пределам на их значения в ряде физических исследований. Основные направления физических исследований следующие:

1. Поиск сигнала рождения бозона Хиггса в ассоциации с топ-кварком (Н.Гусейнов, И.Бойко, А.Диденко, О.Доловова, А.Тропина и др.) в канале распада бозона Хиггса на пару b -струй. Здесь планируется получить и проанализировать данные, напрямую чувствительные к модулю и фазе константы связи бозона Хиггса и топ-кварка. Предсказываемая Стандартной моделью разность фаз между константами связи WH и tH обуславливает деструктивную интерференцию для различных вкладов в процесс рождения бозона Хиггса в ассоциации с топ-кварком и приводит к подавлению сечения этого процесса. Возможные поправки к этой разности фаз от эффектов за рамками Стандартной модели могут привести к росту наблюдаемого сечения в несколько раз.
2. Изучение рождения бозона Хиггса в процессе слияния глюонов и векторных бозонов (Е.Рамакоти). Как и в случае других измерений свойств бозона Хиггса, это измерение

- является важным тестом Стандартной модели и чувствительно к потенциальным отклонениям от её предсказаний.
3. Измерения сечений рождения бозона Хиггса в каналах рождения с калибровочными бозонами (Ф.Ахмадов). Ожидается, что новые данные позволят существенно уточнить проведенные ранее измерения, в частности, с лучшей точностью измерить величины констант связи бозона Хиггса с прелестными и очарованными кварками.
 4. Поиск физических проявлений ряда моделей за рамками Стандартной модели, в частности, - поиск рождения квантовых черных дыр (QВН, Quantum Black Holes) в канале с лептоном и струей (С.Карпов, З.Карпова). Анализ новых данных в этом канале позволит получить новые ограничения на параметры моделей, предсказывающих существование QВН, а также представляет из себя важный тест как применимости Стандартной модели в области энергий в несколько ТэВ, так и качества существующих методов моделирования;
 5. Исследование свойств и спектров возбужденных B_c -мезонов (Т.Любушкина) представляет значительный интерес с точки зрения понимания физики взаимодействия тяжелых кварков и их связанных состояний.
 6. Измерение CP-нарушающей фазы в распадах B_s -мезонов (В.Любушкин). Источником нарушения CP-инвариантности в распадах $B_s \rightarrow J/\Psi\phi$, являются эффекты интерференции прямого распада и распада, в котором происходят осцилляции между B_s и $\text{anti-}B_s$ мезонами. Стандартная модель предсказывает малую величину этой фазы ($\phi_s \sim -0.04$), определяемую углами смешивания Каббиво-Кобаяши-Маскавы. Новые физические явления за рамками Стандартной модели могут вносить существенный вклад в наблюдаемую величину фазы ϕ_s . Дополнительный интерес к этим исследованиям связан с тем, что в настоящее время измерения фазы ϕ_s , проведенные разными экспериментами, плохо согласуются между собой и требуют дальнейшего уточнения.
 7. Изучение свойств тетракварковых и пентакварковых состояний в распадах B-мезонов (А.Васюков, И.Елецких). В последнее время активно ведутся экспериментальные исследования тетракварковых (Z_c, Z_{cs}) и пентакварковых (P_c, P_{cs}) состояний со скрытым очарованием. Вклад пентакварковых состояний в цепочки распада Λ_b -бариона впервые обнаружен в 2015 г. в эксперименте LHCb и подтвержден в данных установки ATLAS. Исследованиями состояний Z_c, Z_{cs} занимались несколько экспериментальных коллабораций, начиная с 2014 г. На текущий момент задача экспериментальных исследований этих состояний заключается в более точном измерении их параметров, достоверном определении их спинов и четностей, обнаружении новых каналов распада и новых состояний в спектрах, что может пролить свет на внутреннюю структуру пентакварков и тетракварков и особенности взаимодействий, ответственных за формирование их спектров.
 8. Исследование совместного рождения пар чармониев, изучение свойств полностью очарованных тетракварковых состояний (И.Елецких, А.Диденко). В 2021-2022 гг. в трех основных экспериментах LHC был открыт спектр резонансов, лежащих вблизи порога рождения пар J/Ψ -мезонов и системы J/Ψ - $\Psi(2S)$ -мезонов. Существование этого спектра согласуется с гипотезой существования полностью очарованных тетракварков. Совершенствование методов моделирования изучаемых спектров, привлечение угловых распределений к анализу наблюдаемых сигналов и измерение их спина-четности являются актуальными экспериментальными задачами на ближайшее будущее. Поскольку точность этих измерений напрямую связана со статистикой отобранных пар чармониев, анализ новых данных установки ATLAS позволит существенно увеличить чувствительность измерений.
 9. Измерение дифференциальных сечений рождения B^+ -мезонов (Л.Гладилин). Это важная задача для понимания механизмов рождения и адронизации тяжелых мезонов.

10. Исследование структуры протона при энергиях LHC (Г.Лыкасов, А.Липатов), в частности, исследования вклада внутреннего очарования в функции распределения партонов, а также исследования вклада поляризованных глюонов. Измерения дифференциальных спектров рождения векторных электрослабых бозонов в ассоциации с тяжелыми струями, измерения угловых распределений в процессах рождения тяжелых прелестных и очарованных адронов, а также тяжелых струй позволят извлечь параметры теоретических моделей для структуры протона, предложенных в ОИЯИ.
11. Поиск распада W -бозона в канале $J/\Psi + \pi$ (Л.Гладилин);
12. Новые измерения дифференциальных сечений одиночного и парного рождения Z -бозонов (Е.Солдатов)
13. Работы по контролю качества данных, контроль качества реконструкции различных типов объектов в детекторе (Е. Солдатов)
14. Измерения полных и дифференциальных сечений ассоциированного рождения W -бозонов и пар топ-кварков (А.Масленников)

Участие ОИЯИ в разработке и поддержке программного обеспечения и теоретической поддержке эксперимента ATLAS

В последние годы участие ОИЯИ в разработке и поддержке программного обеспечения эксперимента ATLAS активно расширяется. Эффективность программ реконструкции, моделирования, триггирования, отбора и анализа экспериментальных событий напрямую влияет на результаты физических исследований. В период 2025-2029 гг. планируется продолжение участия сотрудников ОИЯИ в основных направлениях разработки ПО и расширение этого участия:

1. Разработка Монте-Карло генератора ReneSANCe, в рамках которой планируется расчет поправок и уточнение моделирования ряда физических процессов, исследуемых на LHC, в частности, теоретические вычисления радиационных поправок к рождению W -бозонов в протон-протонных столкновениях с учетом поляризации конечного состояния.
2. Теоретические исследования структуры протона при энергиях LHC, в частности, вклада внутреннего очарования и вклада поперечно-поляризованных глюонов в протоне в различные наблюдаемые экспериментально процессы; расчеты асимметрии в угловых распределениях в процессах рождения пар D -мезонов;
3. Разработка и поддержка баз данных экспериментальных событий (EventIndex). Эта база данных активно используется в ряде физических исследований, где требуется применение нестандартных алгоритмов реконструкции событий, например, в анализе возбужденных состояний B_c -мезонов, проводимого с определяющим вкладом сотрудников ОИЯИ; в рамках этих работ также решаются задачи контроля за целостностью и возможными повреждениями данных, дублированием событий, зарегистрированных разными триггерами и т.д.
4. Продолжение работ и открытие новых направлений по поддержке программного обеспечения системы калориметров ATLAS, в частности, моделирования отклика калориметров, калибровки калориметров, участие в разработке и поддержке ПО баз данных состояния детектора;
5. Поддержка ПО системы триггеров ATLAS;
6. Разработка ряда утилит для статистического анализа данных, в частности, создание генератора псевдоданных, учитывающего особенности многомерного анализа наблюдаемых кинематических спектров;
7. Создание и тестирование программного обеспечения для мультивариантивного анализа данных, в частности, создание собственных математических моделей, алгоритмов обучения и контроля нейронных сетей, учитывающих особенности анализа экспериментальных данных физики высоких энергий.

Участие ОИЯИ в программе модернизации детектора АТЛАС

Эксперименты ATLAS и CMS на LHC являются уникальными драйверами фундаментального понимания природы на границе энергий. С набранной светимостью 3 ab^{-1} на эксперимент, ATLAS и CMS могут достичь, в частности [ATL-PHYS-PUB-2025-018, CMS-HIG-25-002]:

1. Наблюдение редких процессов $H \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $H \rightarrow Z\gamma$ и определение соответствующих констант связи с точностью 3% и 7%;
2. Измерение других основных констант связи бозона Хиггса с фермионами и векторными бозонами с точностью от 1,6% до 3,6%;
3. Наблюдение рождения дибозона Хиггса SM со значимостью, превышающей 7σ ;
4. Измерение трилинейной самосвязи бозона Хиггса λ_3 с точностью лучше 30%;
5. Измерения чрезвычайно редких процессов, таких как одновременное рождение четырех топ-кварков, с точностью 6%;
6. Ограничения на аномальные взаимодействия между топ-кварком и Z-бозоном, поиски новой физики в этих процессах с энергетическими масштабами до 2 ТэВ и т.д.

Для достижения таких точностей требуется большая статистическая выборка экспериментальных данных, поэтому ведутся работы по увеличению светимости LHC, что требует модернизации детекторов и элементов ускорительного комплекса ЦЕРНа. Первый этап модернизации детекторов (Фаза 1) был проведен во время второй длительной остановки LHC (LS2), в результате мгновенная светимость LHC увеличилась более чем вдвое (рис. 1); после LS3 и завершения Фазы 2 модернизации LHC и детекторов светимость увеличится в пять раз по сравнению с номинальным значением $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Фаза 1 модернизации детектора ATLAS

Предварительный график реализации проекта LHC, обновленный в марте 2025 года, представлен на рис. 1.

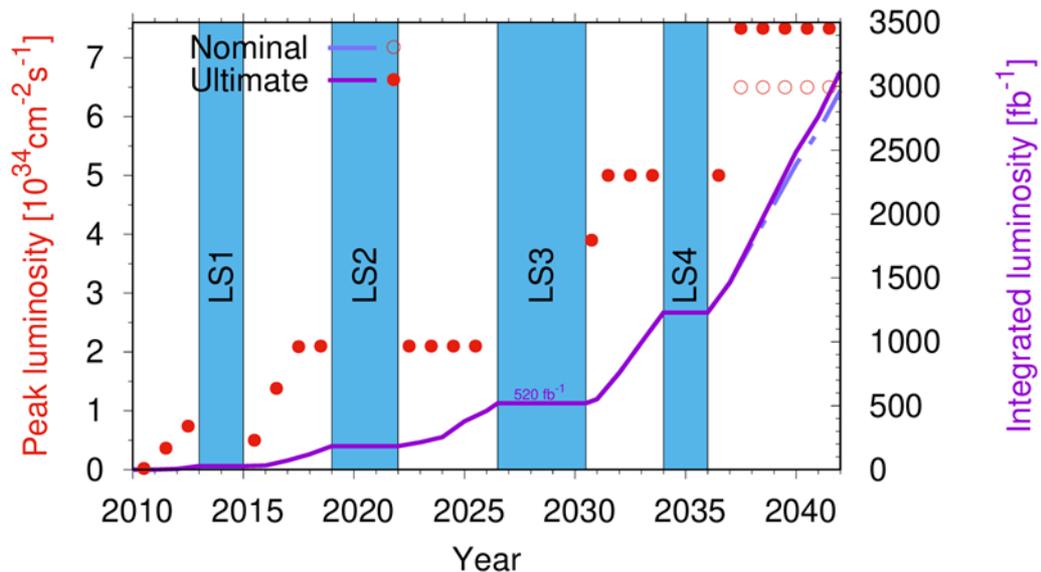


Рис. 1: Предварительный график, показывающий пиковую (интегральную) светимость красным (фиолетовым) цветом в зависимости от года. Периоды длительных остановок показаны синими полосами. Номинальный сценарий (светло-фиолетовый, открытый красный круг) в Run 5 соответствует среднему числу взаимодействий pp на пересечение пучка (наложение событий, $pileup$) около 173, а окончательный сценарий (темно-фиолетовый, сплошной красный круг) соответствует наложению 200 событий. Оба сценария Run 5 включают набор данных по тяжелым ионам.

Первая фаза (фаза 1) модернизации детектора ATLAS была завершена к концу 2022 года. Команда ОИЯИ сыграла важную роль в реализации проекта New Small Wheel (NSW) для мюонного спектрометра, мы внесли вклад в разработку Демонстратора для считывающей электроники калориметра Tile. Для подсистемы Tile мы также провели радиационные испытания новых скинцилляторов и внесли вклад в производство и сборку новых модулей. Наши инженеры спроектировали базовую плату для крейтов считывающей электроники и спроектировали плату предварительного формирователя для триггерной электроники LAr. Радиационные испытания были проведены для печатных плат, кабелей и оптических коммутационных шнуров на импульсном нейтронном реакторе ИБР-2м.

Мюонный спектрометр (фаза 1)

Наиболее значительный вклад ОИЯИ в рамках фазы 1 проекта модернизации ATLAS был сделан для мюонного спектрометра. Группа ОИЯИ отвечала за изготовление и тестирование модулей Micromegas (ММ) для внешней части больших секторов NSW - LM2 (см. рис. 2). Все 64 (плюс 4 дополнительных запасных) панели считывания общей площадью 384 м² из 1200 м² для NSW были изготовлены и протестированы в ОИЯИ. Используя дрейфовые панели, изготовленные в Университете Аристотеля в Салониках, Греция (AUTH), группа изготовила и протестировала все 32 модуля Micromegas (плюс 1 запасной модуль).

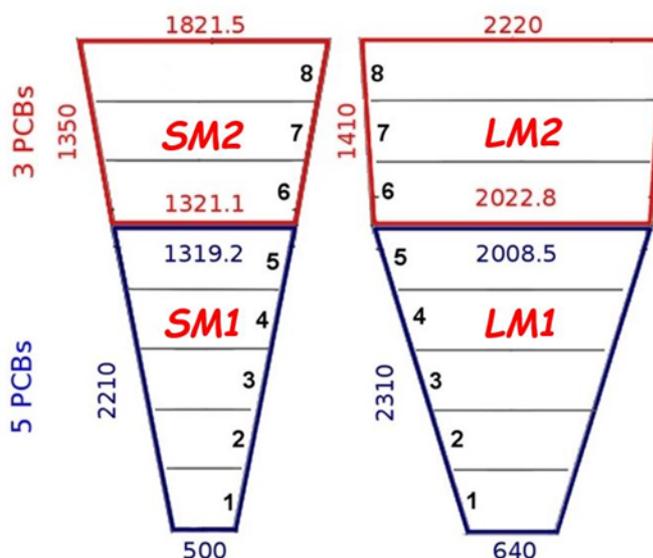
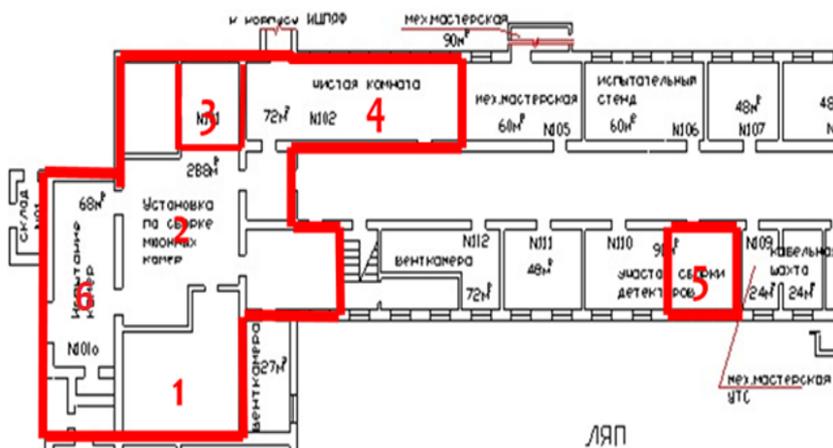


Рис. 2. Схематическое изображение малых и больших секторных клиньев NSW. Размеры указаны в мм.

Для выполнения этих обязательств в Лаборатории ядерной физики им. Джелепова были построены два специализированных цеха (рис. 3). Первая линия использовалась для производства и тестирования камер/квадруплетов ММ для NSW мюонного спектрометра



ATLAS, вторая линия — линия полного цикла производства Micromegas, используемая для НИОКР и производства малых партий детекторов ММ для различных применений (рис. 4).

Рис. 3. Линии производства ММ: 1 – производство панелей, 2 – космический стенд, 3 – испытания на герметичность, 4 – сборка и испытания квадруплетов, 5 – помещение для мойки панелей, 6 – «Дубненская лаборатория массового производства».



Рис. 4. Различные этапы производства и тестирования панелей и модулей RO, а также новые прототипы.

После производства и тестирования модули ММ были отправлены в ЦЕРН, где они были протестированы, интегрированы в структуры NSW и введены в эксплуатацию группой ЛЯП ОИЯИ (рис. 5). В настоящее время модули ММ успешно работают в мюонном спектрометре ATLAS. К маю 2024 года триггер ММ был полностью интегрирован, достигнув эффективности $>95\%$ во всех секторах NSW и еще больше снизив уровень ложных срабатываний. Частота ложных срабатываний триггера ММ теперь находится на уровне ниже 1%.



Рис. 5. Члены команды ЛЯП ОИЯИ во время интеграции модулей LM1 и LM2 (зона ВВ5 в ЦЕРН) и перед полностью собранным колесом NSW.

Таким образом, современная технология Micromegas была внедрена в ОИЯИ. В настоящее время две производственные линии для камер Micromegas используются для НИОКР ATLAS и предоставляют сотрудникам института возможность использовать

камеры в различных физических экспериментах и прикладных исследованиях, включая эксперименты на комплексе NICA.

Жидкоаргоновые калориметры (фаза 1)

Содержание проекта модернизации LAr Phase-I составило проектирование, изготовление и установка новой триггерной электроники считывания. Целью этой модернизации было предоставление более высокой гранулярности, разрешения и информации о продольном профиле ливня от калориметра к триггерным процессорам уровня 1. Десятикратное увеличение гранулярности улучшило энергетическое разрешение триггера и эффективность отбора электронов, фотонов, τ -лептонов, струй и недостающего поперечного импульса, одновременно улучшив дискриминацию фонов и ложных сигналов в условиях высокой мгновенной светимости.

Модернизация ветви триггера системы LAr начинается с сигнала, который вырабатывается линейным смесителем во входной электронике, как показано на блок-схеме на рис. 6. Этот сигнал отправляется по базовой плате на новую плату оцифровки триггера LAr (LTDB), где он подвергается оцифровке.

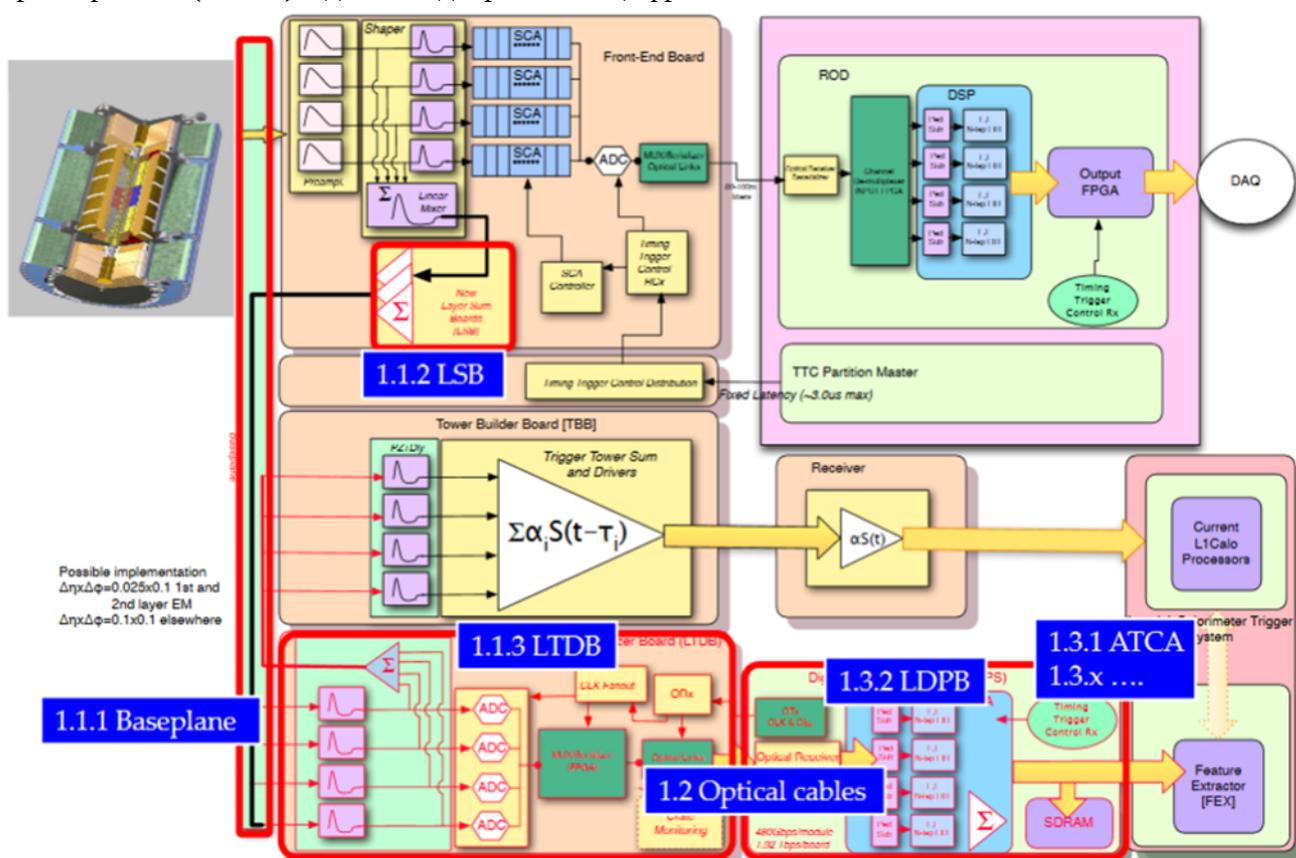


Рис. 6. Принципиальная блок-схема архитектуры считывания триггера LAr для фазы I. Новые компоненты обозначены красными контурами и стрелками

Базовая плата для крейта FE-электроники адронного калориметра - Hadronic Endcap Calorimeter (HEC) - была разработана командой ОИЯИ и изготовлена совместно с коллегами из TRIUMF (Канада). Мы также предложили конструкцию прототипа предварительного формирователя LTDB, он был изготовлен и успешно испытан (рис. 7).

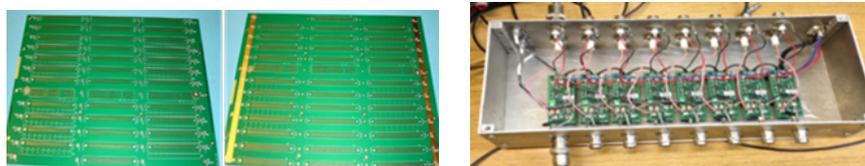


Рис. 7. Базовая плата и тестовая плата прототипа предварительного формирователя для LTDB.

Серия радиационных испытаний плат считывания и кабелей калориметра LAr была проведена на канале облучения 3 реактора ИБР-2. Группа ОИЯИ принимала участие в сеансах с тестовым пучком на SPS CERN для изучения эффектов пространственного заряда с минимодулями переднего калориметра FCal.

Фаза 2 модернизации детектора ATLAS

Чтобы в полной мере использовать потенциал открытий HL-LHC, коллаборация ATLAS предложила программу модернизации детектора ATLAS, состоящую из модификаций и замен существующих подсистем, а также новых дополнений к детектору [CERN-LHCC-2015-020].

Для работы установки в жестких условиях в HL-LHC, сотрудничество ATLAS модернизирует свои детекторы с помощью самых современных приборов и технологий. Эти новые детекторы должны выдерживать гораздо более суровые условия с высокой радиацией, высокой скоростью передачи данных, большими размерами событий и высокой загрузкой до 200 протон-протонных взаимодействий на пересечение протонных пучков. Ключевые улучшения включают изменения в системе триггера и сбора данных, совершенно новый полностью кремниевый внутренний трекер, новый кремниевый временной детектор, а также модернизацию электроники калориметра, дополнительных мюонных камер и электроники, и передних детекторов, как показано на рис. 8.

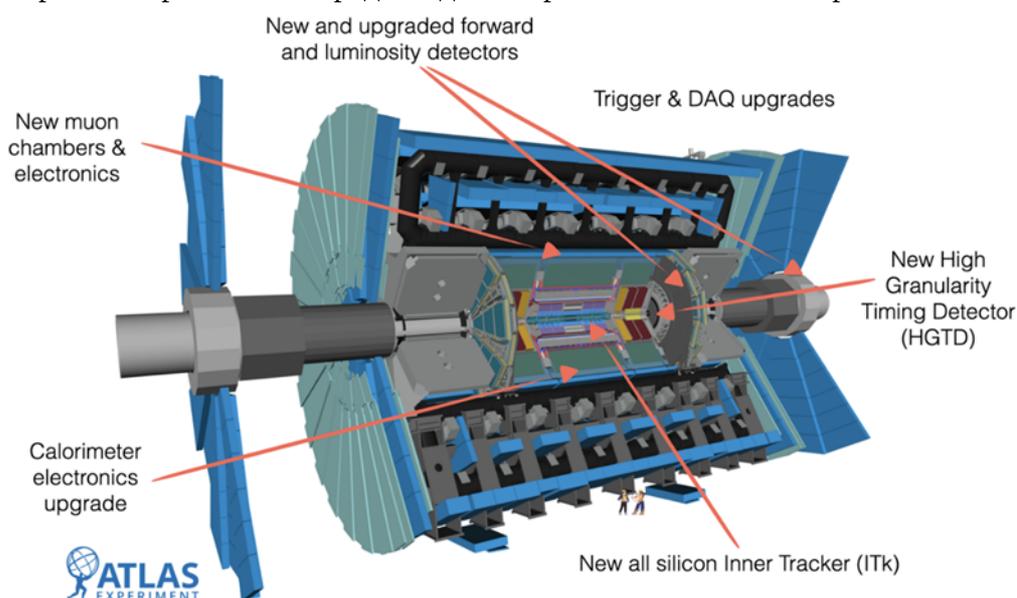


Рис. 8. Схема основных обновлений детектора ATLAS для эпохи HL-LHC, включая обновления триггера и сбора данных (DAQ) с увеличенной скоростью считывания, новый полностью кремниевый внутренний трекер (ITk), новый высокогрануляжный временной детектор (HGTD), обновления электроники калориметра, новые мюонные камеры и электроника с улучшенным покрытием, а также новые и модернизированные передние детекторы и детекторы светимости [JINST 19 (2023) P05063].

В 2019 году ОИЯИ подписал Меморандумы о взаимопонимании по сотрудничеству в модернизации детектора ATLAS (Модернизация фазы 2), которые определяют обязательства группы ОИЯИ по участию в модернизации мюонного спектрометра, жидкоаргонового калориметра и строительстве HGTD. Кроме того, предусмотрены закупки деталей и аппаратных компонентов для этих субдетекторов, а также для системы

TDAQ. Общая стоимость CORE¹ всех позиций составляет около 2,7 млн шв. франков. Эти расходы предусмотрены в Семилетнем плане развития ОИЯИ (2024-2030). Наша цель - максимально увеличить «натуральный» (in-kind) вклад ОИЯИ.

Резистивные плоские камеры (RPC) для мюонного спектрометра (фаза 2)

В соответствии с Меморандумом о взаимопонимании по модернизации фазы 2 ATLAS группа ЛЯП ATLAS участвует в разработке и производстве новых резистивных плоских камер (RPC) для мюонного спектрометра ATLAS. Это включает в себя, в частности:

- Сборку и тестирование RPC синглетов;
- Производство и тестирование стриповых панелей;
- Проектирование, производство, монтаж газовой системы;
- Проектирование, производство и монтаж распределения электропитания;
- Ввод детекторов в эксплуатацию на поверхности, монтаж в шахте и окончательный ввод в эксплуатацию.

Работающая система ATLAS Resistive Plate Chamber (RPC) представляет собой триггер первого уровня в центральной части ATLAS. Она состоит из 6 концентрических цилиндрических слоев, обеспечивающих независимые измерения пространства-времени вдоль дорожки с разрешением $1 \text{ нс} \times 1 \text{ см}$. Для программы HL-LHC эта система подвергнется серьезной модернизации, которая будет заключаться в установке трех дополнительных слоев RPC следующего поколения с полным покрытием во внутренней области центральной части. Эта модернизация увеличит акцептанс триггера (с 78% до 92% и до 96% за счет требования соответствия внутренних и внешних слоев) и улучшит временное разрешение для измерений времени пролета (0,4 нс для новых тонкоззорных RPC и 1,1 нс для старых RPC). Новые тонкоззорные (1 мм) RPC займут площадь 472 м^2 и будут организованы в 306 триплетов. Синглет (рис. 9) представляет собой сборку газового объема, заключенного между двумя считывающими панелями с полосами, параллельными длинной стороне камеры. В свою очередь, газовый объем резистивной плоской камеры состоит из газового зазора, заключенного между двумя пластинами из ламината высокого давления (HPL). На внешнюю поверхность каждой пластины HPL нанесен слой графита. Общая толщина газового объема составляет приблизительно 4,5 мм.

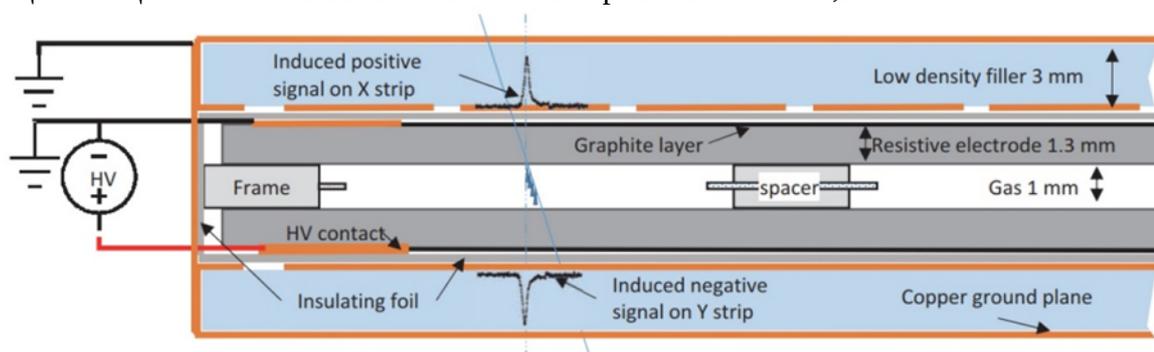


Рис. 9. Схематический вид RPC синглета.

Производственная зона NSW LM2 Micromegas (Phase 1) была адаптирована для производства панелей считывания VI RPC. Для производства используется технология двух вакуумных столов. Эта технология позволяет склеивать обе стороны панелей за один

¹ Значение CORE (стоимость обмена ресурсами) определяет только прямую стоимость результата; оно не включает сопутствующие затраты на рабочую силу, колебания валютного курса, затраты на прототипирование, затраты на НИОКР и т.д. Оно включает такие позиции, как компоненты, промышленный персонал (но не персонал института) для производства, аутсорсинговые части сборки, установки, испытаний и ввода в эксплуатацию.

проход, а толщина панели не зависит от изменения толщины материала (печатная плата + соты) (рис. 10).



Рис. 10. Технологические этапы процесса производства панелей RPC

Были изготовлены и проверены на геометрические характеристики три тестовые панели типа VIL. Испытания показали высокое качество изготовления (рис. 11). Все изготовленные панели с большим запасом удовлетворяют требованиям. Кроме того, трехосевой линейный модуль с измерительным оптическим зондом позволил измерить абсолютные размеры панели и полос на ней и подтвердил высокое качество.

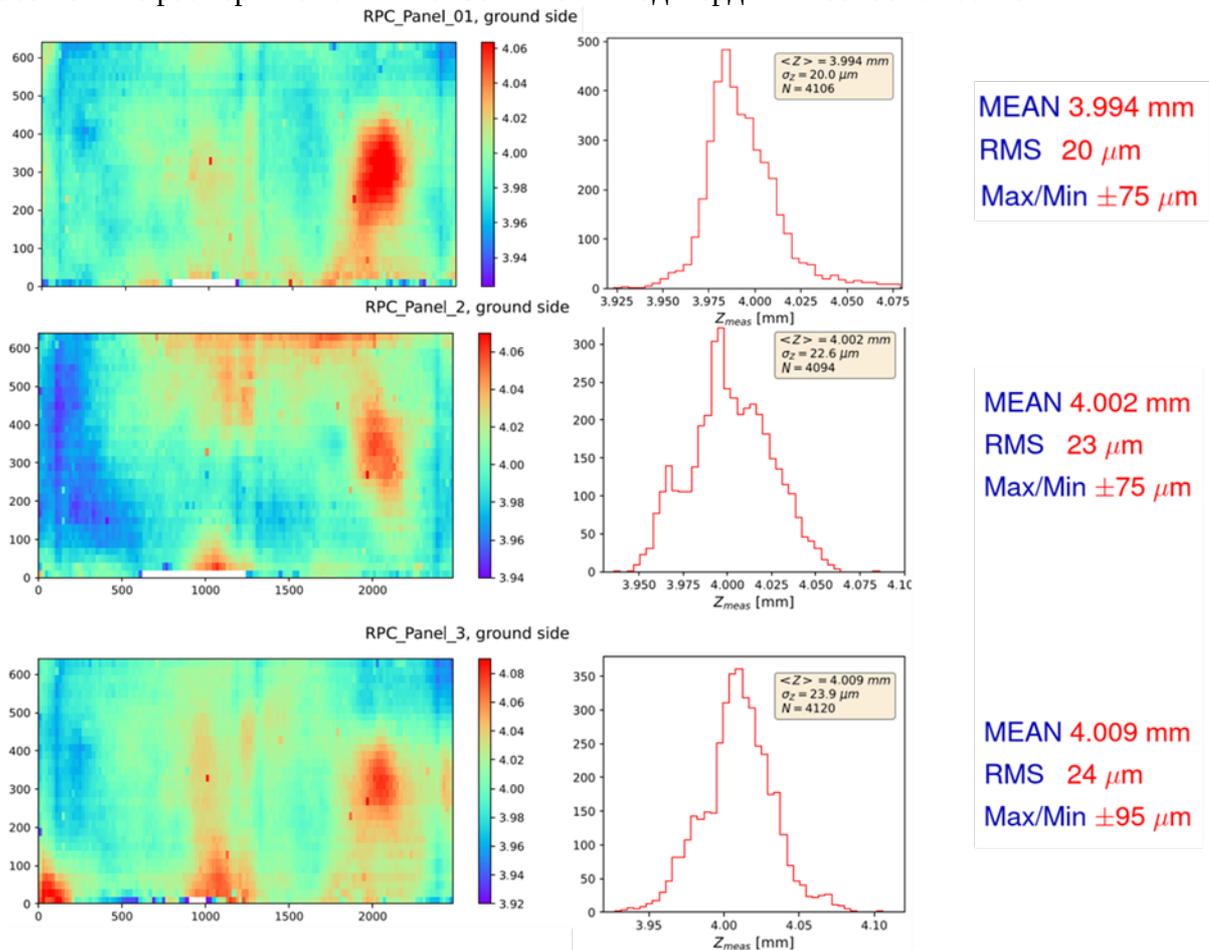


Рис. 11. Результаты измерения геометрических характеристик панелей.

Пока реализация производства RPC в ОИЯИ остается неопределенной, в ЛЯП ОИЯИ создана первая в России и Восточной Европе площадка полного цикла производства по разработке и тестированию современных газовых высокоточных детекторов на основе Micromegas технологии – Micromegas Micro Pattern Gas Detectors (MPGD). Она дает возможность проводить новые разработки, изготавливать и тестировать прототипы и малые партии детекторов, а также эффективно участвовать в реализации крупных физических экспериментов, таких как проект AMBER на SPS в ЦЕРНе, эксперименты MPD и SPD на ускорительном комплексе NICA.

Высокогранулированный временной детектор (фаза 2)

Значительное увеличение наложений взаимодействий является одной из основных экспериментальных проблем для физической программы HL-LHC. Мощным новым способом смягчения эффектов наложения является использование высокоточной информации о времени для различения столкновений, происходящих близко в пространстве, но хорошо разделенных во времени. Поэтому для модернизации ATLAS фазы II предложен детектор времени высокой гранулярности, основанный на технологии лавинного детектора с низким коэффициентом усиления (рис. 12). Охватывая область псевдобыстроты между 2,4 и 4,0, это устройство улучшит физические характеристики детектора в передней области. Типичное количество хитов на трек в детекторе было оптимизировано таким образом, чтобы целевое среднее временное разрешение на трек для минимально ионизирующей частицы составляло 30 пс в начале работы, увеличиваясь до 50 пс в конце работы HL-LHC. Высокоточная информация о времени улучшает подавление наложений событий для улучшения реконструкции передних объектов, дополняя возможности модернизированного внутреннего трекера (ITk) в передних областях ATLAS и приводя к улучшению реконструкции как струй, так и лептонов.

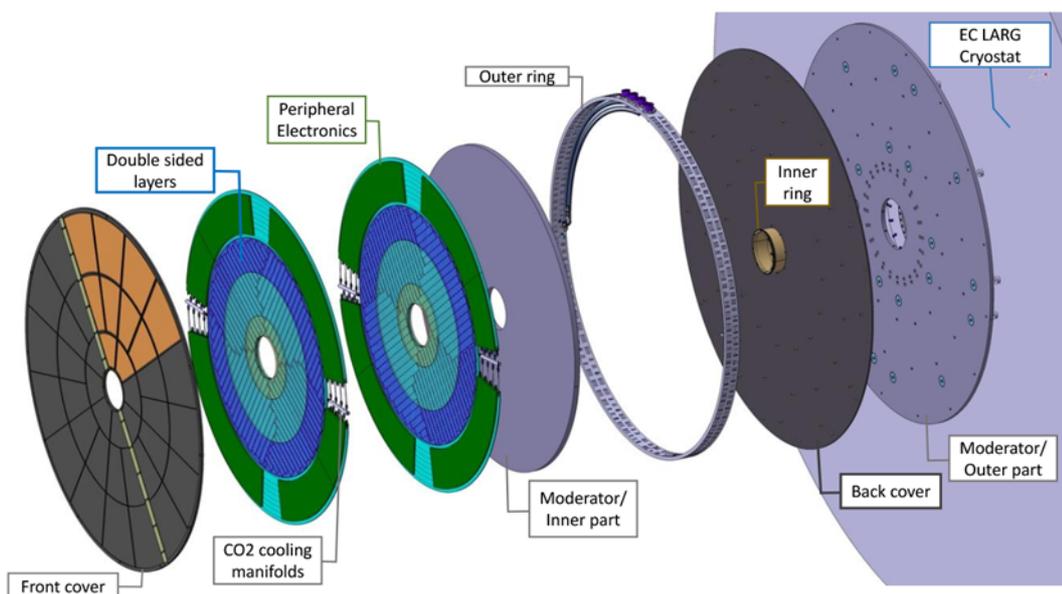


Рис. 12. Общий вид HGTD, который будет установлен на каждом из двух торцевых калориметров. Показаны различные компоненты: герметичный сосуд (передняя и задняя крышки, внутренние и внешние кольца), два инструментированных двухсторонних слоя (установлены в двух охлаждающих дисках с датчиками спереди и сзади каждого охлаждающего диска), две детали замедлителя, размещенные внутри и снаружи герметичного сосуда.

Группа ОИЯИ была вовлечена в проект HGTD с самого начала. Наши сотрудники занимают ряд координирующих позиций в коллаборации. Официальный меморандум о взаимопонимании по сотрудничеству в строительстве HGTD был подписан в 2022 году. Обязательства ОИЯИ включают:

- Разработку и производство системы DCS;
- Проектирование, разработка, производство и тестирование инструментального стенда для полудиска;
- Проектирование, разработка, производство и тестирование приспособления для установки полудиска;
- Участие в сеансах на испытательном пучке, сборке компонентов, монтажных и интеграционных работах.

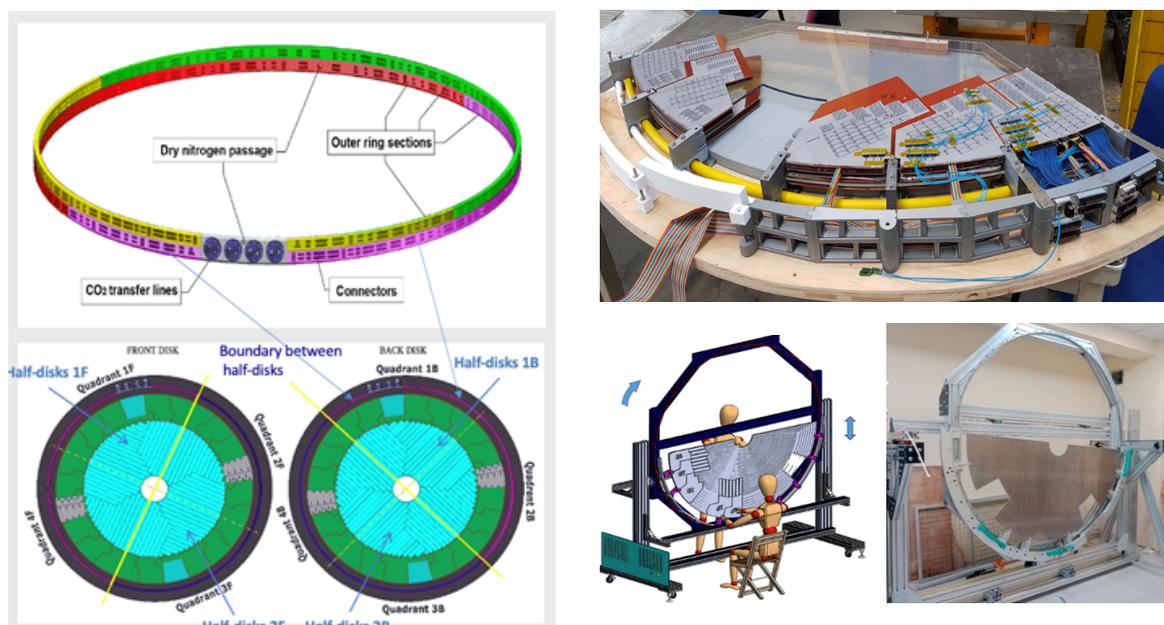


Рис. 13. Детали сервисов HGTD, макет и прототип инструментального стенда полудиска HGTD.

Команда ОИЯИ разработала оптимальную схему расположения модулей и периферийной электроники с целью максимального увеличения количества идентичных компонентов. Также была предложена и реализована в прототипе концепция внешнего кольца детектора и соединительных сервисов (рис. 13). Детектор HGTD включает в себя:

- примерно 300 кабелей и 40 оптических кабелей, подключенных к каждому выходу на внешнем кольце
- 281 патч-кордов + 80 оптических разветвителей на выход, соединяющих платы периферийной электроники кабелями
- Патч-корды HV, LV и NTC все идентичны, разветвители имеют одинаковую длину.

Для оптимизации компоновки электрических и оптических сервисов внутри корпуса HGTD была разработана 3D-модель сервисов внутри корпуса детектора и изготовлен макет. С его помощью были определены места и размеры электрических и оптических сервисов для их дальнейшего изготовления.

Команда ОИЯИ предложила концепцию и спроектировала стенд для инструментирования полудисков HGTD. Прототип стенда был изготовлен в ОИЯИ и готовится к отправке в ЦЕРН. Группа продолжает работу над разработкой системы управления DCS (аппаратной и программной). Мы участвуем в разработке HGTD Demonstrator. Модуль-0 состоит из 1 периферийной платы с 54 модулями (108 ALTIROC ASIC) и других систем детекторов – механики, охлаждения, HV, LV и т. д. Предусмотрены пучковые испытания модулей на SPS и DESY.

Самым значительным in-kind вкладом группы ОИЯИ в проект станет изготовление дополнительных стоек и механических компонентов для опорной рамы HGTD с

последующим участием в сборке полудисков HGTD с использованием стоек, изготовленных в Дубне.

Жидкоаргоновые калориметры (Фаза 2)

Меморандум по участию группы ОИЯИ в модернизации калориметров LAr включает:

- Разработка и тестирование специализированных микросхем предусилителя-формирователя и предварительного формирователя для НЕС;
- Производство и тестирование оптических патч-кордов;
- Разработка и тестирование аналоговой схемы.

Помимо триггерной электроники (уже замененной в период Фазы 1) во время Фазы 2 будет завершена полная замена оставшейся считывающей электроники. Большая часть работ по модернизации электроники калориметра проводилась параллельно с нашими обязательствами для Фазы 1. В частности, была разработана тестовая плата для высокочастотных операционных усилителей аналоговой части триггерного оцифровщика LTDB (рис. 14). Усилители продемонстрировали хорошую линейность вплоть до 8 мкА входного тока.

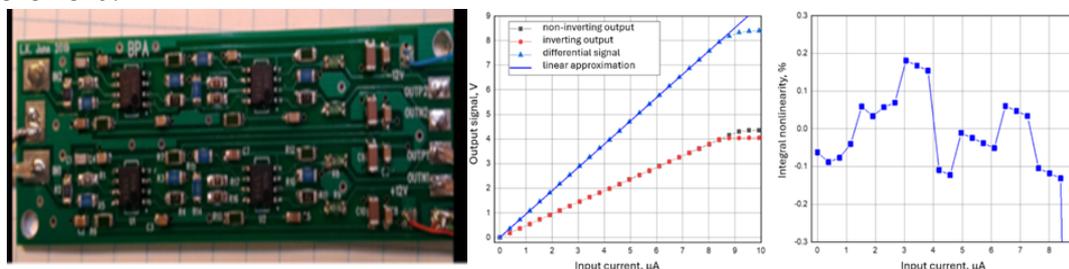


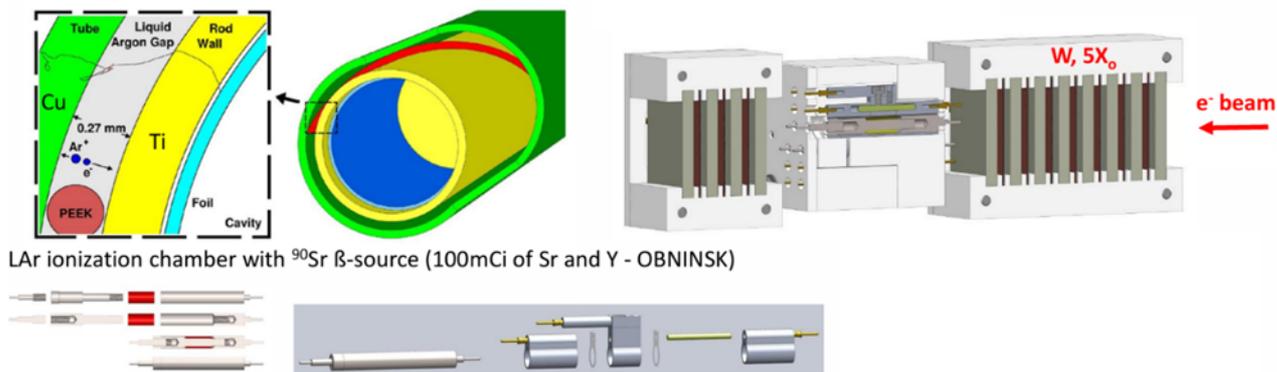
Рис. 14. Тестовая плата и результаты измерений линейности.

На реакторе ИБР-2 мы продолжили программу облучения материалов и электроники калориметров LAr. Оптические патч-корды были подвергнуты воздействию потока быстрых нейтронов $8 \cdot 10^{15}$ н/см². Последующий анализ рефлектограмм не выявил отклонений от первоначальной формы. Мы разработали и испытали набор патч-кордов для испытательного стенда в ЦЕРНе, предназначенного для тестирования полной цепи считывающей электроники LAr. Эти кабели были изготовлены фирмой Unicord (Москва), доставлены в ЦЕРН и используются в стенде.

На данный момент проектирование, тестирование и массовое производство оптических кабелей считается основным in-kind вкладом нашей команды в период второй фазы модернизации LAr. Мы также продолжаем участие в проекте R&D FCalPulse.

На HL-LHC энергетический отклик переднего калориметра ATLAS (FCal) будет искажен из-за чрезмерно высоких ионизационных нагрузок. Импульсы тока будут уменьшаться, а форма искажаться в зависимости от светимости за предыдущие несколько миллисекунд и местоположения внутри модуля. Для контролируемой оценки деградации была предложен проект FCalPulse. В проекте используется один электрод, часть которого подвергается постоянному β -излучению для имитации потока заряженных частиц от наложения событий на HL-LHC. Этот электрод и контрольный электрод, который не подвергается воздействию β -электронов, затем помещаются в пучок электронов высокой энергии. Отклик регистрируется в различных условиях, что позволяет вывести поправочные коэффициенты, которые скорректируют большую часть потерянного сигнала. Мы помогли нашим коллегам из Университета Аризоны изготовить β -источник на 100 мКи Sr-90 в Обнинске и приняли участие в сеансе на тестовом пучке.

Экспериментальные данные тестовых испытаний были набраны в канале пучка H2 северной зоны ЦЕРН в августе 2022 года. Модуль FCal был подвергнут воздействию пучка электронов с энергией 180 ГэВ (рис. 15).



LAr ionization chamber with ^{90}Sr β -source (100mCi of Sr and Y - OBNINSK)

Рис. 15. Детали испытательной установки FCalPulse.

Группа ОИЯИ обеспечивает GEANT4 симуляцию тестовых измерений на пучке ускорителя. Мы сравнили результаты нашей симуляции с расчетами, выполненными ранее в Аризоне для энергии, выделенной в зазоре LAr (трубке) в различных местах электронного пучка для энергии пучка 350 ГэВ (рис. 16).

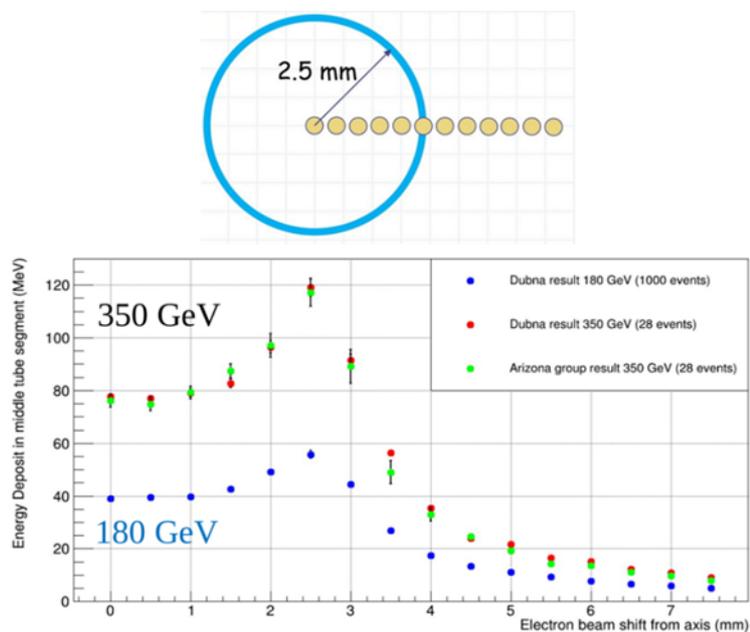


Рис. 16. Выделенная энергия в объеме LAr для различных положений электронного пучка 350 ГэВ и 180 ГэВ.

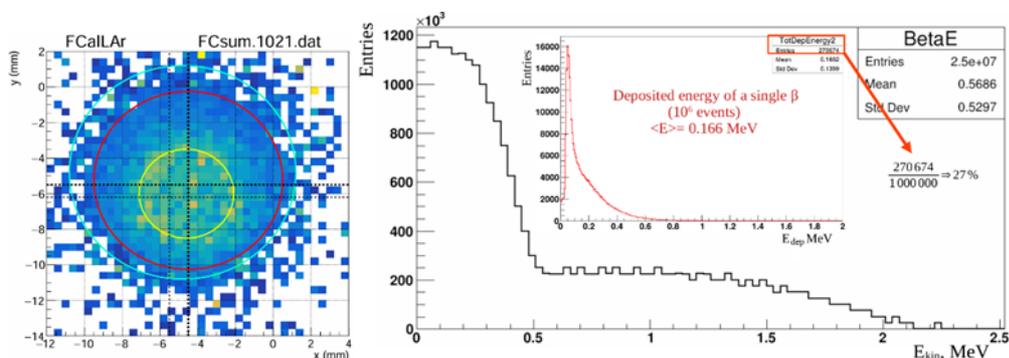


Рис. 17. Профиль тестового пучка и результаты моделирования GEANT4 (исходный спектр источника Sr-90 и выделенная энергия).

Моделирование Монте-Карло продолжается с реальными параметрами электронного пучка (рис. 17). Было показано, что около 30% β -электронов выделяют энергию в зазоре LAr. Анализ продолжается с целью публикации в ближайшем будущем.

Участие в проекте NICA в ОИЯИ

Мегасайенс-проект комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов является флагманским проектом ОИЯИ, направленным на изучение ядерной материи в состоянии максимальной барионной плотности, недоступном для исследований в других лабораториях мира. Изучение спиновой структуры протона и дейтрона и других спин-связанных явлений с поляризованными протонными и дейтронными пучками является одной из основных тем экспериментальной программы NICA. Эти амбициозные цели будут достигнуты путем проведения экспериментов с использованием самых современных детекторных технологий. Многие технологии детекторов, принятые в эксперименте ATLAS, применимы для использования в экспериментах NICA.

В рамках будущей модернизации камер TPC для MPD NICA была исследована устойчивость нового резистивного покрытия (DLC) к разрядам. Устойчивость детектора к электрическим разрядам была продемонстрирована путем накопления около 10^4 событий разряда при газовом усилении 4×10^4 без какого-либо видимого влияния на работу детектора.

Команда ОИЯИ участвует в проекте центрального трекера (МСТ) на базе MicroMegas для SPD NICA. МСТ будет расположен как можно ближе к области взаимодействия пучка и улучшит разрешение импульса и эффективность поиска треков при отсутствии вершинного детектора в первоначальной конфигурации SPD. На сегодняшний день проведено исследование по моделированию и оптимизации газовой смеси, а также определены основные и резервные решения. Протестировано сопротивление разряда защитного слоя DLC, усовершенствована технология и построен первый цилиндрический прототип (рис. 18). Было испытано несколько прототипов различной конфигурации и определены основные параметры будущего детектора.

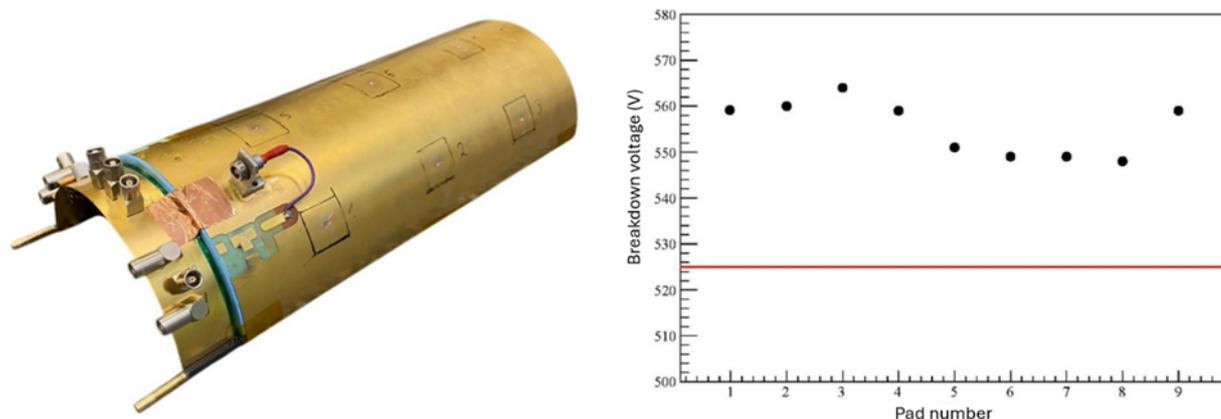


Рис. 18. Общий вид полуцилиндрического прототипа МСТ (слева) и напряжение пробоя (справа), измеренное отдельно для всех площадок. Красная линия представляет рабочее напряжение для газового усиления 10^4 .

Для прототипирования системы TOF детектора SPD было изготовлено четыре камеры MRPC. Аналоговая фронтальная электроника на основе метода дискриминации постоянной фракции была разработана и оптимизирована для временных измерений MRPC. Общее временное разрешение примерно 40 пикосекунд было достигнуто для MRPC с 10-ю и 12-ю зазорами с использованием космической испытательной установки и мюонного пучка на ускорителе У-70 ИФВЭ в Протвино (рис. 19). Полученный результат удовлетворяет требованиям эксперимента SPD на NICA (60 пикосекунд).

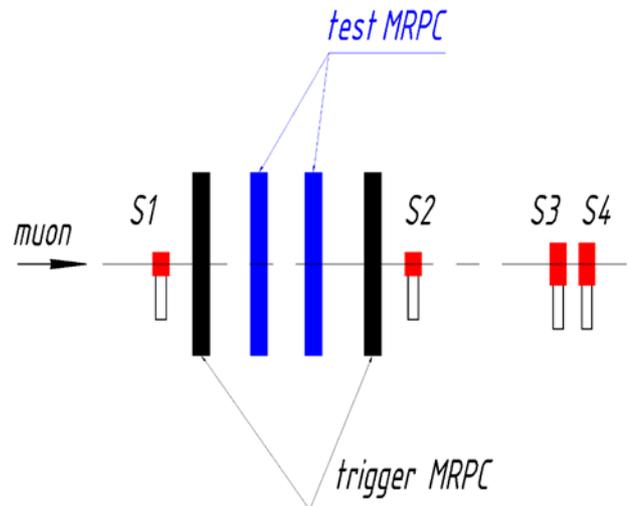


Рис. 19. Испытательный стенд на космическом излучении (слева) и испытательная установка MRPC (справа) на мюонном пучке ускорителя У-70.

Группа ОИЯИ продолжает участвовать в модернизации и обслуживании сверхпроводящих тороидов магнитной системы ATLAS. В период LS3 запланированы замена криогенного насоса, модернизация токонесущих шин, установка лесов и другие работы в шахте ATLAS для служб технического координатора.

Сопутствующие риски (SWOT анализ)

Сильные стороны

- Участие в крупном и сложном международном проекте в конкурентной и высокотехнологичной, ориентированной на международный уровень исследовательской сфере.
- Отличные научные публикации и показатели цитирования.
- Сотрудничество с группами в ведущем международном ускорительном центре (ЦЕРН) и других физических лабораториях.
- Большой интерес со стороны общественности и СМИ.

Слабые стороны

- Старение штатных ученых и инженеров.
- Трудности с регистрацией новых людей в ЦЕРН.

Возможности

- ЛНС демонстрирует огромный потенциал для открытий, что привлекает ученых всех уровней (магистрантов, аспирантов, постдоков и штатных физиков).
- Эксперименты ОИЯИ часто требуют совершенно новых и сложных технологий, а ATLAS предлагает нашим техническим отделам возможности и контакты с новыми исследовательскими сообществами. Новая технология Micromegas уже внедрена в ОИЯИ.
- Опыт, полученный в эксперименте ATLAS, мы передаем коллегам из проекта NICA и другим проектам с участием ОИЯИ.
- BiG Grid — проект электронной научной сети JINR-LCG2 — предоставляет исследователям ОИЯИ самые современные вычислительные сервисы и возможность устанавливать контакты и/или сотрудничать со многими другими исследовательскими дисциплинами.

Угрозы

- Дорогая и сложная логистика, крайне затруднительные банковские транзакции.

В 2024 году ЦЕРН расторг соглашения о сотрудничестве с институтами из России и Беларуси, а в соглашение с ОИЯИ были введены ограничения. Еще до этого, из-за неопределенности ситуации, коллаборация ATLAS приняла решение пересмотреть обязательства ОИЯИ по участию в Фазе 2, часть из которых была перераспределена между другими институтами. В настоящее время ведутся переговоры по уточнению обязательств ОИЯИ и подготовке нового Меморандума о взаимопонимании.

2.3. Предполагаемый срок выполнения - 2030 год.

Начало длительной остановки LS3 для LHC теперь запланировано на начало июля 2026 г., на семь с половиной месяцев позже запланированного. Общая продолжительность остановки увеличится примерно на четыре месяца. В совокупности эти мероприятия сдвинут старт ускорителя High-Luminosity LHC (HL-LHC) (Run 4) примерно на год, на июнь 2030 года. К этому времени будет завершено изготовление, сборка и наладка всех подсистем детектора ATLAS. Помимо основных работ, команды ATLAS также участвуют в реализации экспериментальной программы на комплексе NICA.

2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ - ЛЯП, ЛФВЭ, ЛИТ, ЛНФ и ЛТФ

Основными участниками проекта физических исследований и модернизации ATLAS являются сотрудники Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова и Лаборатории физики высоких энергий им. В.И.Векслера и А.М.Балдина. Также в проекте участвуют сотрудники Лаборатории информационных технологий им. М.Г.Мещерякова (обеспечение обработки экспериментальных данных и моделирования, в том числе с использованием грид-инфраструктуры уровня Tier-2) и Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка (радиационные испытания материалов и компонентов электроники). Теоретическая поддержка проекта (темы) традиционно осуществляется силами сотрудников Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова.

2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК

Вычислительные ресурсы	Распределение по годам				
	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Хранение данных (ТБ) - EOS - Ленты	200	200	200	200	200
Tier 1 (ядро-час)					
Tier 2 (ядро-час)	200	200	200	200	200
СК «Говорун» (ядро-час) - CPU - GPU					
Облака (CPU ядер)					

2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
Foundation ANSL	Armenia	Yerevan	G.Akopyan	Collaborative work

IP ANAS	Azerbaijan	Baku	N.Huseynov+5	Collaborative work
SU	Bulgaria	Sofia	M.V.Chizhov	Collaborative work
UdeM	Canada	Montreal	C. Leroy	Collaborative work
TRIUMF	Canada	Vancouve	L.L. Kurchaninov	Collaborative work
CERN	CERN	Geneva	M.Vincter, A.Hoecker, K.Jacobs	Cooperation agreement
CU	Czech Republic	Prague	I.Wilhelm	Collaborative work
LPC	France	Clermont-Ferrand	F. Vasey	Collaborative work
LAL	France	Orsay	D. Fournier	Collaborative work
HEPI-TSU	Georgia	Tbilisi	T. Djobava + 3	Cooperation agreement
MPI-P	Germany	Munich	S.Menke	Collaborative work
DESY	Germany	Zeuthen	W.Loman Y.Schrieber	Collaborative work
WIS	Israel	Rehovot	G. Mikenberg	Collaborative work
INFN	Italy	Pisa	T. Del Prete,	Collaborative work
INFN	Italy	Genova	S.Turchikhin	Collaborative work
NIKHEF	Netherlands	Amsterdam	H. Van Der Graaf	Collaborative work
CU	Slovakia	Bratislava	A. Dubnickova, S.Tokar	Collaborative work
IP SAS	Slovakia	Bratislava	S.Dubnicka +3	Collaborative work
IFAE	Spain	Barcelona	M. Cavalli-Sforza	Collaborative work
ANL	USA	Lemont, IL	L. Price	Cooperation agreement

SSU	Uzbekistan	Samarkand	A.Artikov U.Salikhbaev	Collaborative work
BINP	Russia	Novosibirsk	L.Maslennikov, V.Bobrovnikov	Collaborative agreement
MEPhi	Russia	Moscow	E.Soldatov	Collaborative agreement

2.6. Организации-соисполнители (те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN)

3. Кадровое обеспечение

3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации (общее количество участников)

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал Сумма FTE	Ассоциированный персонал Сумма FTE
1.	научные работники	29.9	6
2.	инженеры	5.3	1
3.	специалисты	0.3	
4.	служащие		
5.	рабочие	1	
Итого:		36.5	7.0

3.2. Доступные кадровые ресурсы

3.2.1. Основной персонал ОИЯИ (общее количество участников)

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделени е	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Prof. L.Kalinovskaya	DLNP	Head dep.	0.5
		Y.Dydyshka	DLNP	Sen.scientist	0.4
		V. Yermolchik	DLNP	Sen.scientist	0.4
		PhD A.Soloshenko	VBLHEP	Head dep.	1
		T.Turtuvshin	VBLHEP	Scientist	1
		Prof. G.Lykasov	DLNP	Chief sc.	0.8
		PhD A.Lipatov	DLNP	Sen.scientist	0.8
		PhD A.Prokhorov	DLNP	Scientist	1
		PhD V.Lyubushkin	DLNP	Sen.scientist	1

		T.Lyubushkina	DLNP	Scientist	1
		PhD F.Ahmadov	VBLHEP	Sen.scientist	1
		M.Manashova	VBLHEP	Jr.scientist	1
		PhD S.Karpov	DLNP	Sen.scientist	1
		PhD Z.Karpova	DLNP	Sen.scientist	1
		PhD I.Yeletsikh	DLNP	Head dep.	1
		PhD N.Huseynov	DLNP	Sen.scientist	1
		PhD I.Boyko	DLNP	Sen.scientist	0.5
		O.Dolovova	DLNP	Jr.scientist	0.5
		A.Didenko	DLNP	Jr.scientist	1
		A.Vasyukov	DLNP	Jr.scientist	1
		A.Tropina	DLNP	Lab.Assistant	1
		Prof.Y.Kultchitsky	DLNP	Head dep.	1
		P.Tsiareshka	DLNP	Scientist	0.8
		E.Plotnikova	DLNP	Scientist	0.8
		PhD I.Alexandrov	MLIT	Head dep.	0.4
		E.Aleksandrov	MLIT	Scientist	0.2
		A.Kazymov	MLIT	L.programmer	0.2
		M.Mineev	MLIT	Scientist	0.2
		E.Ramakoti	DLNP	Scientist	1
		PhD A. Gongadze	DLNP	Head of sector	0.5
		I. Potrap	DLNP	Scientist	1
		PhD I. Minashvili	DLNP	Jr.scientist	0.5
		PhD A. Cheplakov	VBLHEP	Sc. secretary	0.7
		PhD V. Kukhtin	VBLHEP	Sen scientist	1
		PhD E. Ladygin	VBLHEP	Sen scientist	0.3
		PhD N. Zimin	VBLHEP	Sen scientist	1
		N. Atanov	DLNP	Scientist	0.3
		A. Boikov	DLNP	Jr.scientist	0.2
		PhD Yu. Davydov	DLNP	Head of dept	0.3
		K. Gritsay	DLNP	Scientist	0.4
		S. Malyukov	DLNP	Scientist	1
		V. Moskalenko	DLNP	Jr.scientist	0.3
		S.Bondarenko	BLTP	Prof.	0.4
2.	инженеры	I. Gongadze	DLNP	Engineer	0.7

		L. Gongadze	DLNP	Engineer	0.5
		N. Kaurtsev	DLNP	Engineer	0.5
		T. Rudenko	DLNP	Engineer	0.5
		O. Atanova	DLNP	Engineer	0.4
		V. Rogozin	DLNP	Engineer	0.4
		A. Shaikovskii	DLNP	Engineer	0.3
		I. Troeglazov	DLNP	Engineer	1
		S. Mokrenko	DLNP	Engineer	0.4
		I. Fomichev	DLNP	Engineer	0.3
		A. Shutov	DLNP	Engineer	0.3
3.	специалисты	N. Ponomarenko	VBLHEP	Specialists	0.3
4.	рабочие	M. Serochkin	DLNP	Technician	1
	Итого:				36.5

3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ (общее количество участников)

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники	ИЯФ (Новосибирск)	3
		ТГУ (Томск)	3
2.	инженеры	ФИАН (Москва)	1
3.	специалисты		
4.	рабочие		
	Итого:		7

4. Финансовое обеспечение

4.1. Полная сметная стоимость проекта

В текущий момент в авторском списке коллаборации ATLAS находится 48 сотрудников ОИЯИ и ассоциированных с ОИЯИ ученых. Обязательства института по участию в сменах, эксплуатации детектора с одной стороны и поддержке программного обеспечения и сопутствующих задачах с другой, составляют около 2FTE и 9-10FTE соответственно. Соответствующие этому масштабу участия ОИЯИ в коллаборации траты на международное сотрудничество составляют суммарно $770 \times 5 = 3810k\$$ за 5 лет реализации проекта. Из них $300 \times 5 = 1500k\$$ составляют авторские коллаборационные взносы. Оставшаяся сумма $470 \times 5 = 3350k\$$ -- траты на командирование сотрудников в ЦЕРН для покрытия обязательств института по участию в эксперименте (смены, эксплуатация+ПО).

Затраты, связанные с участием во второй фазе модернизации установки включают расходы на командирование сотрудников для участия в тестовых испытаниях детекторных систем на ускорителях ЦЕРН, проведения монтажных и сборочных работ, размещение оборудования в шахте и других совместных работах, что в сумме составит 1160k\$. Основные работы будут выполняться в Институте, и около 900k\$ будет

израсходовано на приобретение материалов. Соответствующий вклад ОИЯИ составит около 12 FTE.

За время выполнения проекта его полная стоимость составит 5,040 тыс.долларов. Детализация приводится в отдельной форме.

4.2. Внебюджетные источники финансирования

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков (общий объем).

Руководитель проекта _____/_____ /

Дата представления проекта в ДНОД _____

Дата решения НТС Лаборатории _____, номер документа _____

Год начала проекта _____

(для продлеваемых проектов) — год начала работ по проекту _____

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления проекта

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования	Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость (тыс.долл.), распределение по годам				
		1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Международное сотрудничество (МНТС)	3810	770	770	770	750	750
Материалы	900	480	270	90	30	30
Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)						
Пуско-наладочные работы						
Услуги научно-исследовательских организаций	270	60	60	50	50	50
Приобретение программного обеспечения	50	10	10	10	10	10
Проектирование/строительство	10	5	5			
Сервисные расходы (планируются в случае прямой						

		принадлежности к проекту)						
Необходимые ресурсы	Нормо-час							
		- сумма FTE	182.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5
		- ускорителя/ установки,						
		- реактора,.....	200	200				
Источники финансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	5040	1325	1115	920	840	840
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

Руководитель проекта
Экономист Лаборатории

Бедняков
Усоев

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА ATLAS. Модернизация установки и физические исследования на LHC

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА ATLAS

ШИФР ПРОЕКТА 02-2-1081-1-2010/2025

ШИФР ТЕМЫ 02-2-1081-2009

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ(-ЕЙ) ПРОЕКТА Бедняков В.А.

СОГЛАСОВАНО:

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИНСТИТУТА

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА



Якубов Е.А.

29.05.25



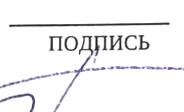
Любенко С.А.

24.05.25



Семаченко У.В.

22.05.25



Бегунов

13.05.2025

