

УТВЕРЖДАЮ
Директор Института

“ “ _____ 2025 г.

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

1. Общие сведения о проекте

1.1. Шифр темы

02-1-1083-2009/...

1.2. Шифр проекта

1.2. Лаборатория

ЛФВЭ

1.3. Научное направление

Физика элементарных частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий

1.4. Наименование проекта

Физические исследования на эксперименте CMS и вторая фаза модернизации установки для работы в условиях высокой светимости.

1.5. Руководитель проекта

Каржавин В. Ю.

1.6. Заместитель руководителя проекта

Шматов С. В.

1.7. Научный руководитель проекта

Матвеев В. А.

2. Научное обоснование и организационная структура

2.1. Аннотация

Физики ОИЯИ участвуют в проекте CMS, начиная с разработки концепции эксперимента в 1992 г. Основной вклад ОИЯИ был сосредоточен на создании детекторов торцевой части экспериментальной установки CMS, включая проектирование, строительство и эксплуатацию торцевого адронного калориметра (HCAL) и передней мюонной станции (ME1/1). Исследователи ОИЯИ принимали и принимают активное участие в реализации программы физических исследований, поддержании эффективной работы установки и проведении сеансов по набору экспериментальных данных. Во время двух длительных технических перерывов в работе LHC в 2013–2015 гг. (Long Stop 1, LS1) и в 2019–2022 гг. (Long Stop 2, LS2) проведена модернизация экспериментальной установки CMS, обеспечившая эффективную работу всех систем в условиях повышенной светимости

LHC до $2 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при проектном значении энергии протон-протонных столкновений 14 ТэВ в системе центра масс.

Настоящий проект направлен на проведение комплексных исследований в области физики элементарных на экспериментальной установке “Компактный мюонный соленоид” (CMS) на Большом адронном коллайдере (LHC) с целью изучения фундаментальных законов природы. Особое внимание будет уделено решению первоочередных задач эксперимента: подтверждение одного из предлагаемых механизмов генерации масс элементарных частиц (исследование свойств открытого в 2012 г. бозона Хиггса и поиск новых скалярных частиц), поиск суперсимметрии и частиц-кандидатов на роль темной материи, проверка теоретических гипотез низкоэнергетической гравитации при энергиях масштаба ТэВ. К другим важным проблемам, которые физики надеются решить с помощью LHC, относится поиск путей объединения трех фундаментальных взаимодействий, например, в рамках расширенных калибровочных теорий. Кроме того, физическая программа группы ОИЯИ в CMS включает целый набор исследований, направленных на изучение предсказаний стандартной модели (СМ) в новой области энергии, изучение свойств КХД при ранее недоступных значениях переданного четырехимпульса и долей переданной энергии, изучение закономерностей взаимодействия ядер при высоких энергиях, поиск кварк-глюонной плазмы и многое другое.

Начиная с 2030 года предусмотрена работа LHC при высокой светимости вплоть до $7,5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (вторая фаза работы LHC – High Luminosity LHC), что позволит увеличить статистику более чем на порядок ($\text{Lint} \sim 3000 \text{ фбн}^{-1}$). В период третьей длительной остановки (Long Stop 3, LS3) с 2026 г. по 2029 г. запланирована модернизация установки CMS, целью которой является обеспечение эффективной работы всех систем в условиях в режиме HL–LHC. Основными направлениями работ на данном этапе проекта являются участие в создании торцевого калориметра высокой гранулярности (Highly Granularity Calorimeter, HGCAL) и участие в модернизации катодно-стриповых камер (CSC) передней мюонной станции ME1/1 торцевой мюонной системы CMS.

Одной из первостепенных задач настоящего проекта является исследование физических характеристик детекторов с целью проверки стабильности, эффективности и долговечности работы в условиях больших нагрузок при повышении светимости LHC. Особое внимание в задачах проекта уделено развитию алгоритмов реконструкции событий в детекторах HGCAL и ME1/1 и соответствующего программного обеспечения для распределенных обработки и анализа данных на основе грид-технологий, в том числе с помощью вычислительной инфраструктуры ОИЯИ для эксперимента CMS (центров Tier-1 и Tier-2).

2.2. Научное обоснование (цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски).

Физики ОИЯИ принимают участие в проекте «Компактный мюонный соленоид» (CMS) более 30 лет с момента создания CMS. Сотрудничество осуществлялось в рамках объединения институтов РФ и стран-участниц ОИЯИ в коллаборации CMS (RDMS). ОИЯИ внес ключевой вклад в создании установки CMS, который был в основном сосредоточен на создании детекторов торцевой части экспериментальной установки CMS с полной ответственностью RDMS за проектирование, строительство и эксплуатацию торцевого адронного калориметра (HCAL) и передней мюонной станции (ME1/1).

В соответствии с Семилетним планом развития на 2024–2030 гг. и Меморандумом об взаимопонимании между ОИЯИ и коллаборацией CMS (MoU) ОИЯИ продолжит активное участие в программе физических исследований эксперимента CMS на LHC и в реализации второй фазы модернизации детекторных систем во время остановки LHC в 2026–2030 гг.

Настоящий проект направлен на проведение комплексных исследований в области физики элементарных на экспериментальной установке CMS на LHC с целью изучения фундаментальных законов природы. Особое внимание будет уделено решению

первоочередных задач эксперимента: подтверждение одного из предлагаемых механизмов генерации масс элементарных частиц (исследование свойств открытого в 2012 г. бозона Хиггса и поиск новых скалярных частиц), поиск суперсимметрии и частиц-кандидатов на роль темной материи, проверка теоретических гипотез низкоэнергетической гравитации при энергиях масштаба ТэВ. К другим важным проблемам, которые физики надеются решить с помощью ЛНС, относится поиск путей объединения трех фундаментальных взаимодействий, например, в рамках расширенных калибровочных теорий. Кроме того, физическая программа группы ОИЯИ в CMS включает целый набор исследований, направленных на изучение предсказаний стандартной модели (СМ) в новой области энергии, изучение свойств КХД при ранее недоступных значениях переданного четырехимпульса и долей переданной энергии, изучение закономерностей взаимодействия ядер при высоких энергиях, поиск кварк-глюонной плазмы и многое другое.

Начиная с 2030 года предусмотрена работа ЛНС при высокой светимости вплоть до $7,5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (вторая фаза работы ЛНС – High Luminosity LHC), что позволит увеличить статистику более чем на порядок ($\text{Lint} \sim 3000 \text{ фбн}^{-1}$). В период третьей длительной остановки (Long Stop 3, LS3) с 2026 г. по 2029 г. запланирована модернизация установки CMS, целью которой является обеспечение эффективной работы всех систем в условиях в режиме HL-LHC. Основными направлениями работ на данном этапе проекта являются участие в создании торцевого калориметра высокой гранулярности (Highly Granularity Calorimeter, HGCal) и участие в модернизации катодно-стриповых камер (CSC) передней мюонной станции ME1/1 торцевой мюонной системы CMS.

Одной из первостепенных задач настоящего проекта является исследование физических характеристик детекторов с целью проверки стабильности, эффективности и долговечности работы в условиях больших нагрузок при повышении светимости ЛНС. Особое внимание в задачах проекта уделено развитию алгоритмов реконструкции событий в детекторах HGCal и ME1/1 и соответствующего программного обеспечения для распределённых обработки и анализа данных на основе грид-технологий, в том числе с помощью вычислительной инфраструктуры ОИЯИ для эксперимента CMS (центров Tier-1 и Tier-2).

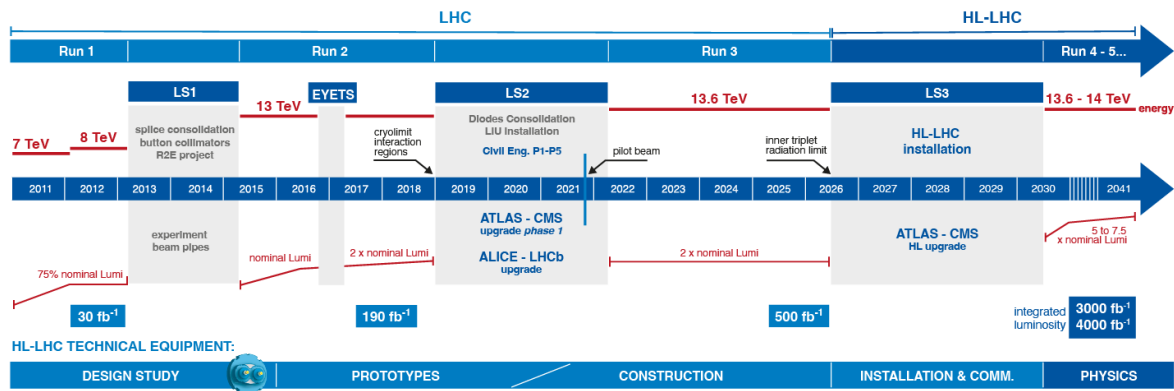


Рисунок 1. График работы ЛНС.

Первый этап ЛНС (LHC RUN1) проходил в 2009–2012 гг. при работе на сталкивающихся пучках протонов при 7 и 8 ТэВ. В 2015 г. стартовал новый этап работы ЛНС (LHC RUN2) при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, который продлился до второй длительной остановки (Long Stop 2, LS2) в конце 2018 г. За это время интегральная светимость, записанных экспериментом CMS данных Lint достигла порядка 190 фбн^{-1} . После LS2 исследования при проектных значениях энергии 13–14 ТэВ (запланировано увеличение энергии до проектного значения 14 ТэВ в с. ц. м.) и светимости свыше $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (LHC RUN3) продлятся до конца 2025 г. (ожидаемая к концу этапа $\text{Lint} \sim 500 \text{ фбн}^{-1}$).

Начиная с 2027 г. предусмотрена работа ЛНС при повышенной светимости вплоть до $7,5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (High Luminosity LHC, HL-LHC), что позволит увеличить статистику более

чем на порядок ($L_{int} \sim 3000 \text{ фбн}^{-1}$). График работы LHC/HL-LHC и, ожидаемая на каждом этапе, интегральная светимость приведены на рисунке 1.

Главными **целями проекта** является

- разработка и реализация программы исследований по прецизионной проверке стандартной модели (СМ) и поиску новой физики за ее границами;
- модернизация и эксплуатация экспериментального комплекса CMS на LHC для обеспечения его работы в режиме работы HL-LHC, включая участие в создании торцевых калориметров высокой гранулярности HGCal и в модернизации передней мюонной станции ME1/1 катодно-стриповых камер CSC торцевой мюонной системы CMS.

Проект включает четыре основных направления, которые определяют **структуру проекта**

- разработка и реализация программы физических исследований на установке CMS, направленных на поиск новой физики за границами Стандартной модели, исследование свойств бозона Хиггса и другие проверки СМ;
- модернизация детекторов CMS для работы в условиях высокой светимости HL-LHC, включая участие в создании калориметра с высокой гранулярностью HGCal и модернизацию детекторов торцевой мюонной системы CMS;
- исследование характеристик детекторных систем, обеспечение их работоспособности, набора и контроля качества данных
- развитие методов и алгоритмов реконструкции физических объектов и отбора событий, создание соответствующего программного обеспечения для распределенной обработки и анализа данных на основе грид-технологий.

Основными задачами проекта являются

1. Обработка и анализ экспериментальных данных эксперимента CMS на статистике, соответствующей интегральной светимости до $L_{int} = 500 \text{ фбн}^{-1}$ с целью получения новых физических результатов по направлениям:
 - поиск новой физики в канале с двумя лептонами в конечном состоянии и проверка предсказаний сценариев за рамками Стандартной модели (гравитации на масштабе ТэВ, расширенных калибровочных моделей, сценариев с частицами-кандидатами на роль темной материи, процессов с нарушением лептонного числа и т.д.)
 - поиск новой физики в канале с двумя лептонами/двумя b-кварками и потерянной поперечной энергией в конечном состоянии и проверка предсказаний сценариев за рамками Стандартной модели (поиск расширенного хиггсовского сектора и частиц-кандидатов на роль темной материи);
 - исследование свойств бозона Хиггса и поиск новых скалярных бозонов за рамками СМ в каналах распада на лептоны и пары b-кварков;
 - исследование процессов рождения мюонных пар в процессе Дрелла–Яна для проверки предсказаний СМ в новой области энергий, измерения слабого угла смешивания и проверки распределений структурных функций кварков и глюонов;
 - изучение свойств струй КХД и уточнения функций фрагментации.
2. Развитие методов и алгоритмов реконструкции физических объектов и отбора событий, создание соответствующего программного обеспечения для распределенной обработки и анализа данных на основе грид-технологий.
3. Выполнение обязательств ОИЯИ участию в создании калориметра высокой гранулярности HGCal
 - создание экспериментального комплекса для испытаний кассет HGCal с сенсорными элементами и участие в сборке и тестировании кассет;

- создание системы низковольтного питания HGCal и его интеграция экспериментальную установку.
- 4. Выполнение обязательств ОИЯИ по модернизацию детекторов мюонной станции ME1/1 для работы в условиях HL- LHC и их тестирование, включая набор статистики на космических лучах.
- 5. Исследование характеристик детекторных систем, обеспечение их работоспособности и набора данных
 - исследование характеристик мюонных камер в период набора данных RUN3;
 - получение новых результатов научно-исследовательской работы по деградации характеристик CSC камер при работе в условиях высокой светимости HL-LHC;
- 6. Подготовка детекторов торцевой мюонной системы и HGCal к набору данных в период LHC RUN4, начало которого ожидается в 2030 г.
 - введение в эксплуатацию после модернизации;
 - обеспечение работы во время набора данных адронной калориметрии и мюонной станции ME1/1;
 - набор первых данных LHC RUN4.

Кроме того, в рамках проекта предусмотрены работы по модернизации и эксплуатации детекторных систем CMS, которые не являются обязательствами ОИЯИ (BRIL, ECAL). Финансирование этих работ в рамках проекта не предусмотрено, они будут выполняться за счет средств коллаборации CMS силами ассоциированного персонала ОИЯИ.

Основным вычислительным ресурсом проекта является грид-инфраструктура Многофункционального информационно-вычислительный комплекс (МИВК) ОИЯИ, интегрированная глобальную грид-инфраструктуру проекта WLCG (Worldwide LHC Computing Grid).

I. Программа физических исследований на установке CMS

Перспективы исследований на LHC при проектной энергии¹ и в режиме высокой светимости (HL–LHC) обсуждаются уже более десяти лет. Главной целью новых исследований, безусловно, станет дальнейшее тщательное изучение природы бозона Хиггса и поиск возможных отклонений от предсказаний СМ, указывающих на проявления сигналов новых физических явлений. Основной вопрос, на который попытаются ответить эксперименты на LHC, формулируется по-прежнему: существует ли новая физика на энергетическом масштабе порядка ТэВ?

Многочисленные поиски отклонений от предсказаний СМ не принесли результатов, однако, позволили установить ограничения на массы гипотетических частиц и на энергетические масштабы новых явлений (новых калибровочных бозонов, дополнительных измерений, составной структуры фундаментальных частиц, лептокварков и т. д.), полученных на основе данных RUN1 и RUN2. Это может означать, что либо масштабы процессов новой физики лежат за пределами достигнутых энергетических (массовых) пределов на LHC, либо их сечения настолько малы, что возможность наблюдения находится за порогом текущей чувствительности экспериментальных измерений.

Ожидается, что во время RUN3 и на HL–LHC измерения будут проведены в существенно расширенных, по сравнению с существующими, областях модельных параметров для всех сценариев физики за рамками СМ. Увеличение статистики позволит не только расширить ожидаемые пределы на массы новых частиц (в 1.2–3 раза), предсказываемых различными моделями за пределами СМ, но и, если такие частицы будут обнаружены, провести разделение различных гипотез об их происхождении (определение спина и констант взаимодействия).

¹ С середины 2022 г. LHC работает при энергии 13.6 ТэВ в с.д.м. (проектное значение — 14 ТэВ в с.д.м.)

Исследования свойств бозона Хиггса и поиск новой физики. Одним из главных инструментов исследований будет изучение свойств бозона Хиггса. На основе статистики первого и второго сеансов LHC свойства нового бозона были исследованы довольно тщательно. В настоящее время нет причин сомневаться в том, что новая частица является скаляром, согласующимся с гипотезой флуктуацией поля Хиггса. Тем не менее, достигнутая точность измерения констант связи не позволяет однозначно сказать, что закрыта любая возможность существования новой физики — наблюдаемый вклад от рождения новых частиц (новых каналов распада бозона Хиггса) может оказаться гораздо меньше текущей точности измерений. Увеличение статистики позволяет существенно повысить эту точность к концу LHC RUN3 и в режиме HL-LHC (рис. 2).

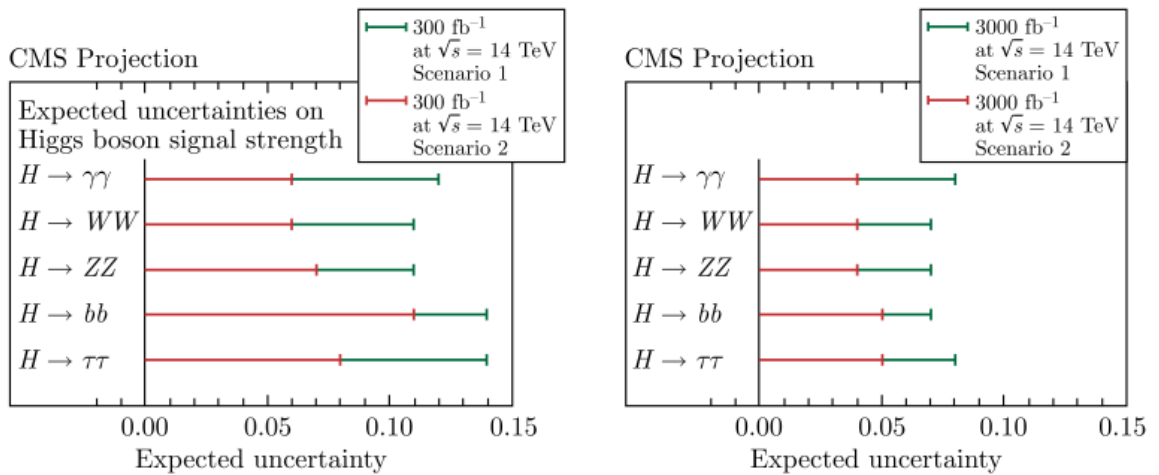


Рисунок 2. Оценочная точность измерения интенсивности сигнала бозона Хиггса для 300 fb^{-1} (слева) и 3000 fb^{-1} (справа).

После эпохального открытия 2012 г. прошло уже более 10 лет, за которые физики собрали достаточную статистику, позволившую произвести довольно прецизионные измерения характеристик этого объекта – масса измерена с точностью 0.1%, произведены измерения ширины и констант связи, определены спин и четность, экспериментально подтверждены большинство каналов распада и механизмов рождения бозоном Хиггса. Подобное систематическое накопление знаний позволило физикам превратить бозон Хиггса в инструмент поиска новой физики (рис.3).

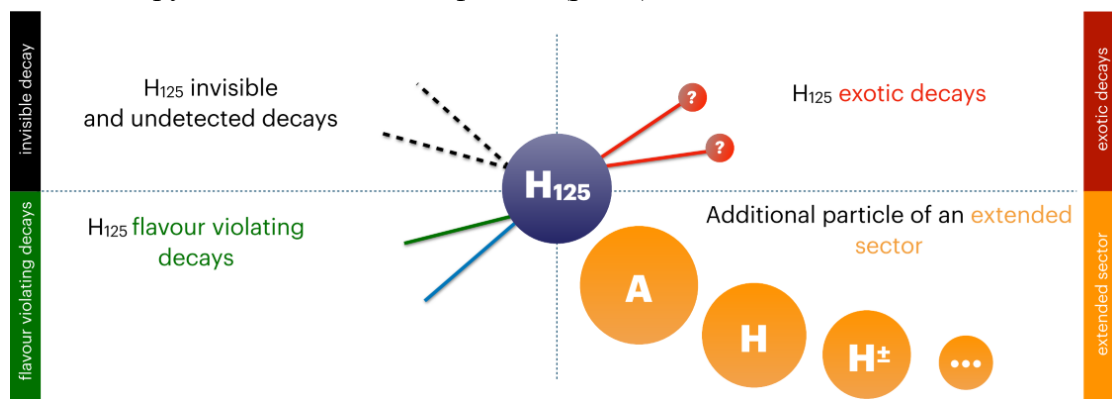


Рисунок 3. Возможные пути поиска новой физики с использованием бозона Хиггса.

Прежде всего новая физика ожидаемо должна проявлять себя как вклады в процессы редких или экзотических распадов бозона Хиггса, таких как распады на легкие лептоны (мюоны и электроны), невидимые распады, то есть распад на частицы, которые не регистрируются в детекторе (например, нейтрино в СМ или частицы-кандидаты в темную материю), распады, идущие с нарушением лептонного числа (Lepton-Flavor Violation, LFV)

и другие. Причем можно пытаться обнаружить подобные распады как уже открытого бозона Хиггса СМ, так и скалярных состояний из расширенного хиггсовского сектора.

Другим путем является использование бозона Хиггса для прямого поиска экзотических частиц, предсказываемых самыми разнообразными теоретическими сценариями. В случае, если масса бозона Хиггса больше ожидаемых масс гипотетических частиц, то ведутся поиски распада бозона Хиггса на эти гипотетические частицы, по их распадам на частицы СМ. Массивные гипотетические частицы сами могут распадаться на бозоны Хиггса, который потом регистрируется стандартным способом.

Таким образом к традиционным направлениям в поиске сигналов физики за рамками СМ, таким как исследования суперсимметрии (SUSY), поиск несуперсимметричных сигналов физики за рамками стандартной модели (Beyond the Standard Model, BSM) и поиск сигналов SUSY и BSM в каналах с кварками третьего поколения (Beyond two Generations, B2G), добавились исследования с бозоном Хиггса».

Поиск новой физики (традиционные сигналы). Одним из приоритетных направлений исследований в современной физике элементарных частиц является поиск отклонений от предсказаний СМ. Подобные отклонения в канале с парой лептонов предсказываются довольно широким классом моделей новой физики и могут быть обусловлены, например, рождением новых нейтральных калибровочных бозонов Z' в теориях великого объединения (ТВО), рождением калуца-клейновских (КК) состояний гравитона в сценариях многомерной гравитации с пониженным масштабом взаимодействия или кандидатов в частицы темной материи (ТМ). Кроме того, данный канал чувствителен к существованию новых легких хиггсовских состояний, предсказываемых в теориях с неминимальным хиггсовским сектором, содержащим два дублета и один синглет хиггсовских полей – 2HDM+S (в частности, хиггсовский сектор неминимальной суперсимметричной модели NMSSM дает один из вариантов 2HDM+S); подобные легкие скалярные состояния присутствуют также в других теоретических конструкциях с расширенным составом хиггсовских полей [1–2].

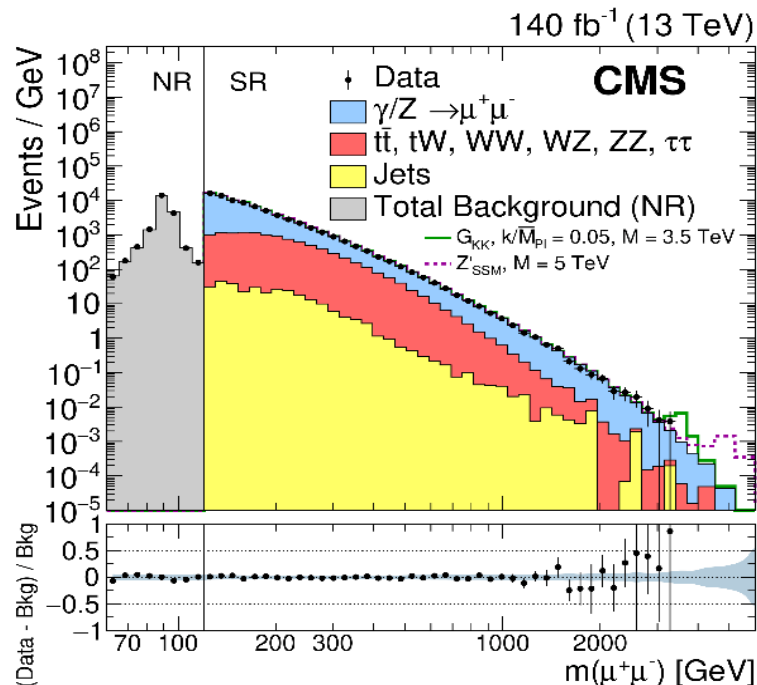


Рисунок 4. Распределения по инвариантной массе пар мюонов, полученные в нашем анализе при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ.

Поиск новых резонансов будет проводиться с помощью метода максимального правдоподобия путем анализа формы распределения пар лептонов по их инвариантной

массе (рис. 4). Такой подход обеспечивает независимость результатов от погрешности определения абсолютной величины фона. Для уменьшения влияния других систематических эффектов (светимости, аксептанса, эффективностей триггера и оффлайн реконструкции) сечение рождения пар лептонов было нормировано на сечение рождения Z -бозона. Интерпретация формы распределений по инвариантной массе осуществлялась в рамках байесовского подхода к оценке вероятностей.

При отсутствии значимого превышения наблюдаемых событий над ожидаемым фоном с уровнем достоверности (C.L.) 95 % может быть определен верхний предел на сечение рождения пар лептонов в присутствии новых тяжелых резонансов. Измерения модельно-независимых верхних пределов на сечения рождения резонансных состояний со спином 1 и спином 2 будут осуществляться в приближении узкого резонанса. Результаты поиска резонансов могут быть интерпретированы в рамках расширенных калибровочных моделей, основанных на группах TBO E6 и SO(10), и модели многомерной гравитации с пониженным масштабом взаимодействия с метрикой многомерного пространства анти-де Ситтера AdS5 (сценарий Рэндалл–Сандрума, тип 1 – RS1). В общем случае модельно-независимый предел может быть использован для установления ограничений на массу новых резонансов в рамках любой теоретической модели. В качестве референсных рассмотрены два сценария нового тяжелого резонанса — со спином 1 (дополнительный калибровочный бозон Z') и со спином 2 (KK-моды RS1–гравитона).

Данные Run 2 при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ (рис. 5, левый) исключают существование новых нейтральных калибровочных бозонов в области масс менее 4.89 ТэВ/ c^2 для модели SSM и 4.29 ТэВ/ c^2 для ψ -модели (одного из сценариев TBO). При объединении данных в канале рождения пар мюонов и пар электронов эти пределы расширяются, соответственно, до 5.15 ТэВ/ c^2 и 4.56 ТэВ/ c^2 . В зависимости от значения отношения кривизны многомерного пространства анти-де Ситтера κ и фундаментальной массы Планка (0.01–0.1) сценария RS1, ограничения на массу KK-состояния гравитона составили 2.34–4.59 ТэВ/ c^2 в канале $\mu^+\mu^-$, при этом комбинированный ($\mu^+\mu^-$ и e^+e^-) предел достигает 2.47–4.78 ТэВ/ c^2 (рис. 5, правый).

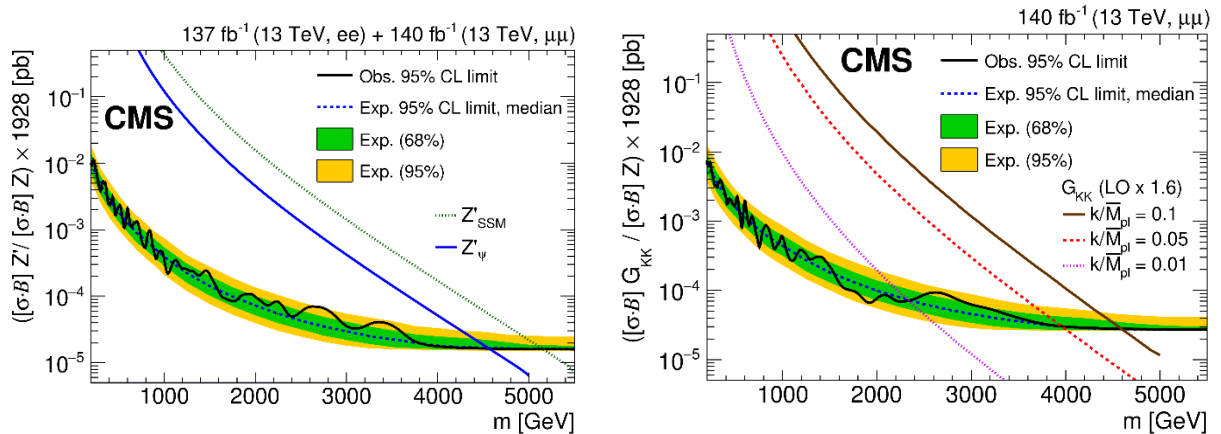


Рисунок 5. Модельно-независимый верхний предел (95% CL) на сечение рождения пар мюонов (черная сплошная линия), нормированное на сечение рождения Z -бозона, для случая резонансов со спином 1 (слева) и спином 2 (справа). Пунктирная линия отвечает ожидаемому пределу в случае CM (основанному на моделировании).

Обобщением результатов, полученных в ходе RUN1 и RUN2, позволяют получить предсказания (рис. 6) на массовые пределы нового тяжелого бозона Z' расширенного калибровочного сектора CM, которые могут быть достигнуты при работе LHC при Run 3 и в режиме высокой светимости (1000–3000 фбн $^{-1}$), с учетом последних данных CMS. Для модели SSM предсказано наступление кинематического предела в районе около 7 ТэВ/ c^2 при энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, что соответствует 7–8 ТэВ/ c^2 при $\sqrt{s} = 14$ ТэВ.

При поиске в спектре пар лептонов сигналов нерезонансного типа для интерпретации наблюдаемых массовых спектров будет использован метод подсчета числа событий в ограниченной снизу сигнальной области значений инвариантных масс пар лептонов. Полученные результаты будут интерпретированы в рамках сценария больших дополнительных измерений ADD с двумя схемами перенормировки (HLZ и GRW), а также в рамках моделей контактных взаимодействий фермионов.

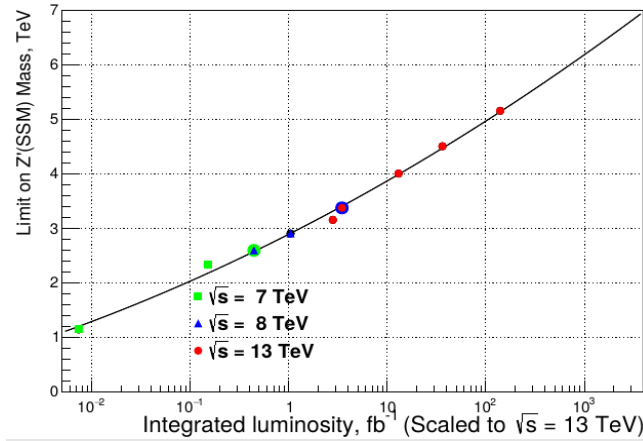


Рисунок 6. Наблюдаемые при $\sqrt{s} = 7, 8$ и 13 ТэВ массовые пределы для гипотетического калибровочного бозона Z' в модели SSM в зависимости от интегральной светимости.

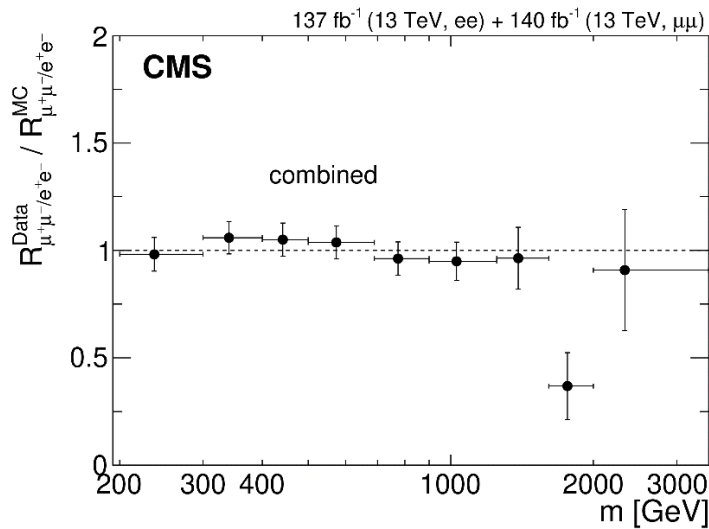


Рисунок 7. Отношение вероятностей распада Z -бозона по электронному и мюонному каналу, полученное в эксперименте CMS; для сравнения показано также предсказание СМ (пунктирная линия).

Важным направлением исследований при анализе парного рождения лептонов является проверка универсальности взаимодействий в лептонном секторе, т.е. поиск процессов, идущих с нарушением лептонного числа – в распадах на пары мюонов и электронов проверена универсальность взаимодействий в лептонном секторе (Lepton Flavour Universality Violation, LFUV). СМ утверждает, что бозоны, в частности Z -бозон, распадаются на мюонные и электронные пары с одинаковой вероятностью. Однако, если СМ неполна, в данных могут содержаться указания на предпочтительность распада по первому или второму каналу. На статистике RUN2 эксперимент CMS впервые смог проверить эту гипотезу в области больших инвариантных масс (рис. 7). Значимых указаний на подобные электронные или мюонные «предпочтения» в распадах обнаружено не было.

(хотя присутствуют небольшие отклонения, связанные с избытком событий в электронном канале в области самых больших масс, что и предстоит проверить на данных Run 3).

Поиск новой физики (сигналы со смещённой точкой взаимодействия). С самого начала своего существования эксперимент CMS был ориентирован на регистрацию событий, в которых в качестве исходной точки треков заряженных частиц или струй адронов (вершины взаимодействий) рассматривается область пересечения пучков сталкивающихся протонов – вся реконструкция строится на привязке треков к этой номинальной точке взаимодействия (interaction point, IP). Вместе с этим, существует ряд физических сценариев (теории с темной материей аксионами, расширенные суперсимметричные сценарии, модели бариогенезиса и пр.), которые предсказывают рождение долгоживущих частиц (Long-Lived Particles, LLP), которые после своего рождения в точке пересечения пучков могут длительное время лететь не распадаясь (рис. 8). Таким образом точка распада, вершина, очень сильно смещена от точки взаимодействия протонов. Это смещение может составлять и несколько миллиметров, и сотни метров. Если вершина распада лежит в объеме установки, то можно попытаться реконструировать такое событие, но уже без привязки к IP и даже без привлечения информации из детекторных систем, расположенных наиболее близко к IP, например, LLP может не распадаясь пролететь весь трекер и, таким образом, ее реконструкция может полагаться только на сигналы из системы калориметров и/или мюонной системы. Конфигураций подобных топологий насчитывается более десятка, физические объекты, формирующие события, могут быть лептонами, фотонами, струями, образовывать различные комбинации, а распадные вершины лежать практически в любой детекторной системе.

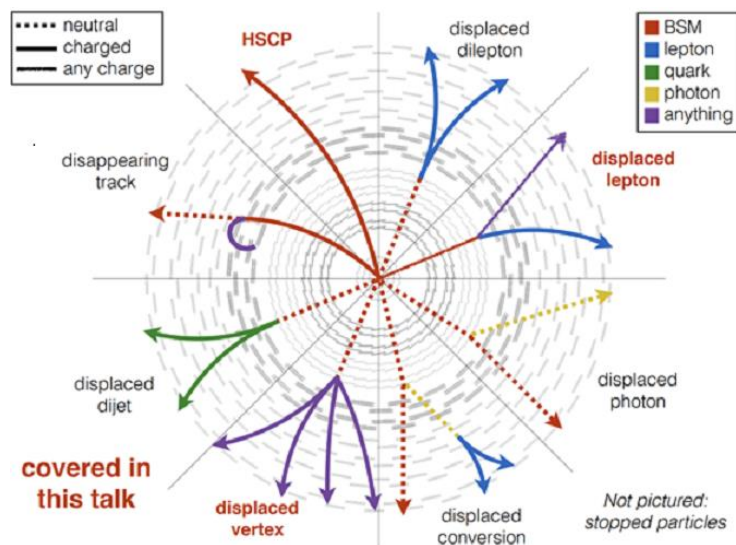


Рисунок 8. Топологии событий при рождении долгоживущих частиц LLP

Программа физических исследований группы ОИЯИ в CMS сосредоточены на исследовании свойств бозона Хиггса и других проверках СМ, поиск новых скалярных бозонов за рамками СМ и поиск новой физики в канале с двумя лептонами/двумя b -кварками и потерянной поперечной энергией в конечном состоянии:

- поиск новой физики в канале с двумя лептонами в конечном состоянии и проверка предсказаний сценариев за рамками Стандартной модели (гравитации на масштабе ТэВ, расширенных калибровочных моделей, сценариев с частицами-кандидатами на роль темной материи, процессов с нарушением лептонного числа и т.д.)
- поиск новой физики в канале с двумя лептонами/двумя b -кварками и потерянной поперечной энергией в конечном состоянии и проверка предсказаний

сценариев за рамками Стандартной модели (поиск расширенного хиггсовского сектора и частиц-кандидатов на роль темной материи);

- исследование свойств бозона Хиггса и поиск новых скалярных бозонов за рамками СМ в каналах распада на лептоны и пары b -кварков;
- исследование процессов рождения мюонных пар в процессе Дрелла–Яна для проверки предсказаний СМ в новой области энергий, измерения слабого угла смешивания и проверки распределений структурных функций кварков и глюонов;
- изучение свойств струй КХД и уточнения функций фрагментации.

II. Модернизация детекторов CMS для работы в условиях высокой светимости HL-LHC

Для реализации запланированной программы исследований на HL-LHC детекторные системы экспериментальных установок должны быть существенно модернизированы. Во-первых, они должны быть адаптированы для работы в условиях существенно увеличенных радиационных нагрузок, а во-вторых, детекторы вместе с системой отбора событий (системой триггера) и программным комплексом реконструкции и анализа событий должны позволить выделять нужную экспериментальную информацию в условиях большого количества одновременных взаимодействий при соударении сгустков протонов, так называемых «наложенных» событий, или «пайлапа» (pile-up). Если среднее число подобных событий на первых этапах не превышало 20–40, то, как ожидается, на третьем этапе оно составит 60, а в условиях HL-LHC достигнет ≈ 140 –200. Таким образом, множественность взаимодействий в одном пересечении пучков возрастёт почти в 5 раз, что накладывает дополнительные требования на быстродействие детекторов, электроники считывания, а также систем сбора и обработки данных. Это обстоятельство также требует использования радиационно-стойких материалов для детекторных элементов и разработки новых методов анализа экспериментальной информации.

Модернизация детекторов торцевой мюонной системы

Во время двух длительных технических перерывов в работе LHC в 2013–2015 гг. и в 2019–2022 гг. проведена первая фаза модернизации экспериментальной установки CMS, обеспечивающая эффективную работу всех систем при высокой светимости LHC до 2×10^{34} см $^{-2}$ с $^{-1}$ при повышении энергии протон-протонных столкновений до проектного значения 13,6 ТэВ в системе центра масс.

Специалисты ОИЯИ внесли большой вклад в модернизацию мюонной системы 108 детекторов четырех мюонных станций, расположенных в области больших нагрузок, оснащены новой электроникой повышенного быстродействия.

Вторая фаза модернизации CMS для работы в режиме HL-LHC начнется в 2026 г. и затронет все ключевые детекторные элементы установки: трекер, калориметры и мюонную систему. ОИЯИ принимает активное участие в модернизации мюонной системы CMS и в создании калориметра высокой гранулярностью (HGCal). При увеличении светимости коллайдера детекторы и электроника считывания должны быть адаптированы для работы в условиях существенно увеличенных радиационных нагрузок. Физиками ОИЯИ проводится комплексное исследование деградации параметров детекторов при работе в условиях HL-LHC. Выполнен большой объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на исследование радиационных свойств материалов и выбор технических решений в разработке новых детекторов систем.

В период длительной остановки LHC в 2026–2029 гг. будет проведена глубокая модернизация детекторов первого диска торцевой части установки CMS. Будет установлен новый адронный калориметр HGCal, новая мюонная станция ME0 и детекторы времяпролетной системы. В связи с этим все работающие сейчас детекторы диска и

сервисные системы, включая все виды кабелей и трубопроводов, будут демонтированы. Детекторы первой мюонной станции ME1/1,2,3 (всего 216 камер) будут демонтированы и перемещены в специально созданную лабораторную зону, где будут проведены их частичная модернизация и тестирование. Участие ОИЯИ в программе модернизации координатных детекторов первого диска торцевой системы детектора CMS заключается в следующем:

- Разработка новых соединительных панелей, их изготовление (72 шт.) и установка в детектор (эскиз панели приведен на рис. 9).
- Изготовление новых кабелей высоковольтного питания камер ME1/1.
- Оборудование лабораторной зоны для проведения модернизации CSC.
- Разработка и изготовление загрузочных устройств для монтажа камер ME1/1 (рис. 6).
- Демонтаж и транспортировка камер.
- Проведение модернизации камер и их тестирование, включая набор статистики на космических лучах.
- Монтаж камер в установку, подключение сервисов и системы считывания данных.
- Проведение тестирования камер и введение мюонной станции в эксплуатацию.

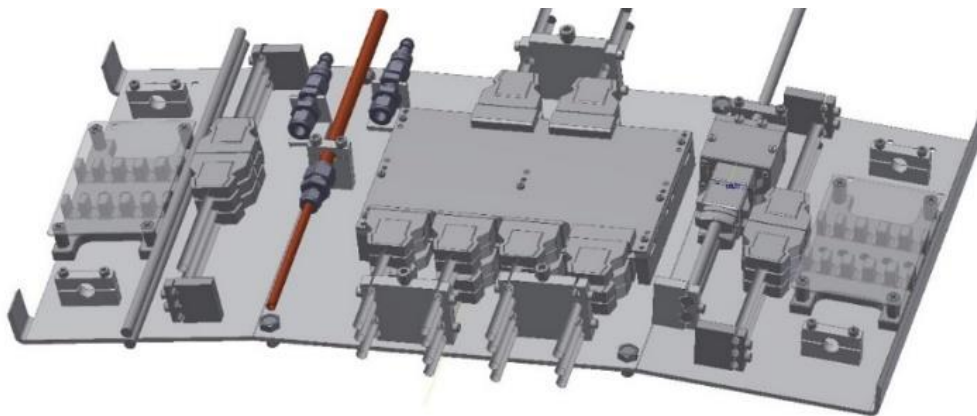


Рисунок. 9. Эскиз соединительной панели ME1/1.



Рисунок 10. Устройства для монтажа камер ME1/1.

Соединительные панели камер ME1/1 (ME1/1 ПП), расположенные на диске YE1, обеспечивают возможность отключения кабелей и сервисных соединений (газ и охлаждающая жидкость) при необходимости демонтажа камер ME1/1. ME1/1 ПП представляет собой сложное устройство, которое наряду с разъемами кабелей и сервисных соединений двух CSC включает в себя 2-е активные интерфейсные платы (РРІВ) для обмена информацией с электронными модулями в периферийных крейтах.

Создание калориметра с высокой гранулярностью HGCal

Набор экспериментальных данных в режиме высокой светимости коллайдера (HL-LHC) будет проходить при мгновенной светимости превышающей номинальное значение в несколько раз $5\text{--}7 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, что приведет к воздействию экстремальных уровней радиации на детекторы и электронику считывания установки CMS. Кроме того, из-за возросшей светимости ожидается существенное ($\sim$ в 5 раз) увеличение количества столкновений (до 200) на пересечение пучка, что представляет собой значительную проблему для разделения перекрывающихся событий (pile-up). Частота триггера первого уровня и объем записываемой информации возрастут почти на порядок, что накладывает дополнительные требования на быстродействие детекторов, электроники считывания, а также систем сбора и обработки данных.

Основной задачей модернизации установки CMS, которая начнется во второй половине 2026 г. и продлится до 2030 г. является обеспечение надежной и эффективной работы всех частей установки в режиме HL-LHC.

Создаваемый калориметр с высокой гранулярностью HGCal заменит торцевые калориметры CMS адронный и электромагнитный, поскольку имеющиеся детекторы не выдержат высокой радиации, ожидаемой во время режима работы HL-LHC. HGCal будет обладать способностью выдерживать интегральные уровни излучения на порядок, превышающие проектные для оригинальной конструкции CMS. Максимальный ожидаемый флюенс нейтронов в месте расположения торцевых крышек составит $1,5 \times 10^{16} \text{ nеg/см}^2$ (где nеg/см^2 – число эквивалентных нейтронов с энергией 1 МэВ на квадратный см). Самый высокий уровень радиации ожидается во внутренней части калориметра ближе к точке взаимодействия. Для получения хорошего энергетического разрешения и обеспечения возможности справиться с возросшим pile-up, детектор будет иметь более высокую гранулярность и хорошее временное разрешение $\sim 30 \text{ ps}$ для измерения времени регистрации падающих частиц.

Высокая гранулярность калориметра не только уменьшит эффект pile-up, но и обеспечит возможность улучшить реконструкцию потока частиц (particle flow).

Общая идея алгоритмов реконструкции “потока частиц” заключается в том, что депозиты энергии не группируются по отдельности в пределах электромагнитной и адронной частей калориметра, а связаны с отдельными частицами. Дополнительно для реконструкции используется кречерная информация. Например, для определения энергии заряженных адронов рассчитывается средневзвешенное значение импульса в трекаре и энергии, измеренной в калориметре, что позволяет достичь наилучшее возможное энергетическое разрешение. Использование алгоритмов “потока частиц” позволит значительно улучшить энергетическое разрешение по сравнению с традиционными алгоритмами, особенно для низких значений поперечного импульса струи p_T .

Структура HGCal. HGCal это семплинг-калориметр, охватывающий диапазон псевдобыстрот от 1,5 до 3. На рисунке 11 представлена схема устройства HGCA (верхняя половина торцевой части) и его основные параметры.

В электромагнитной секция (CE-E) в районе повышенного уровня радиации и высокой плотности событий будут использоваться кремниевые сенсоры. В адронной части (CE-H), при больших радиусах, будут использованы сцинтилляционные пластины (тайлы), считываемые кремниевыми фотоумножителями (SiPM). Детекторы будут установлены на дисках, которые будут разделены поглощающим материалом: медью и свинцом в электромагнитной секции и сталью в адронной секции. Всего на две торцевые части HGCal в качестве детектирующих элементов будет установлено 620 м^2 кремниевых сенсоров и 400 м^2 сцинтилляционных пластин, содержащих более 6 миллионов каналов считывания данных. Для повышения надежности работы кремниевых сенсоров

(уменьшения токов утечки сенсоров после облучения) весь HGCal будет работать при температуре -30°C , которая будет достигаться за счет охлаждения CO_2 .

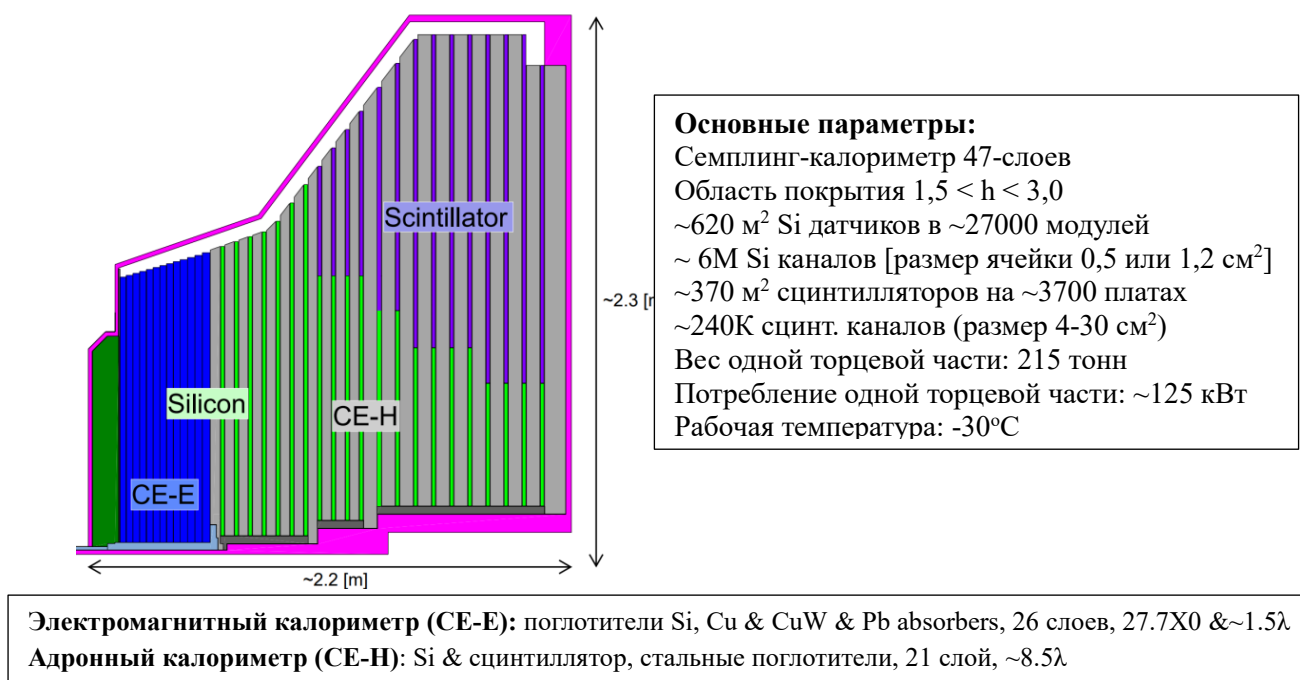


Рисунок 11. Схема и основные параметры калориметра HGCal

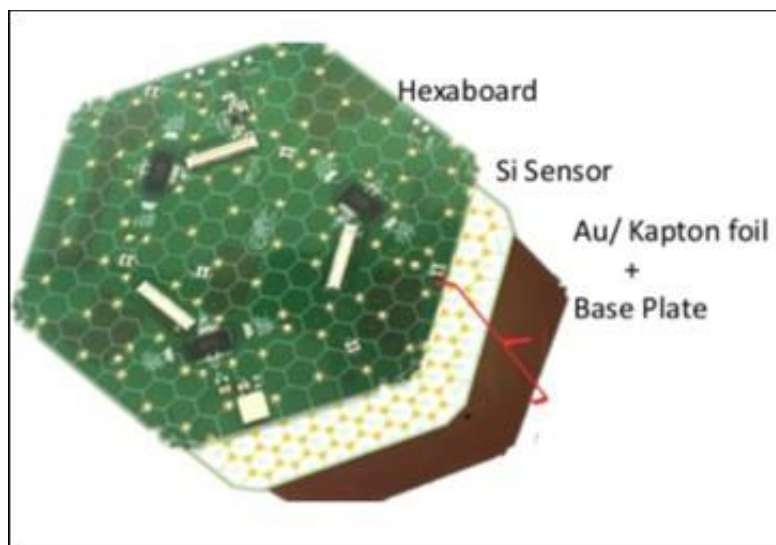


Рисунок 12. Конструкция кремниевого модуля.

Кремниевые сенсоры и кремниевые модули CE-E. Кремниевые сенсоры электромагнитной секции CE-E изготавливаются на 8-дюймовых пластинах, которые имеют шестиугольную форму. Выбор шестиугольной геометрии мотивирован максимальным использованием площади круглой пластины. Существует три различных толщины активных кремниевых датчиков (120, 200 и 300 $\mu\text{м}$), оптимизированных для областей с разными уровнями радиации. Сенсоры сегментированы на ячейки и считываются по отдельности. Датчики толщиной 200 и 300 $\mu\text{м}$ содержат 192 ячейки каждая по $1,2 \text{ см}^2/\text{ячейка}$, в то время как датчики толщиной 120 $\mu\text{м}$ содержат 432 ячейки по $0,5 \text{ см}^2/\text{ячейка}$

Кремниевый модуль (рис.12.) состоит из четырех компонентов: печатной платы со встроенной электроникой, кремниевого сенсора, изолирующей фольги каптона и пластины

основания для механической поддержки. Всего в HGAL будет около 26 000 кремниевых модулей.

Сцинтилляторы и сцинтилляционные модули. Для адронной секции CE-H предусмотрено применение двух типов сцинтилляционного материала: на основе поливинилтолуола (PVT) и на основе полистирола (PS). Исходя из стоимости, производительности и простоты сборки, литые и обработанные сцинтилляторы на основе PVT будут использоваться спереди, а литые сцинтилляторы на основе PS будут использоваться для остальной части адронной секции. Для считывания информации применяется наиболее эффективная технология «SiPM-on-tile», впервые разработанная коллаборацией CALICE, в которой SiPM собирает свет с ячейки через углубление на поверхности. Углубление выравнивает отклик по всей ячейке, а отражающая обмотка усиливает сбор света. Адронная секция содержит 280 000 каналов с размерами ячеек сцинтилляторов от 4 до 30 см², а площадь SiPM составляет от 2 до 4 мм². SiPM монтируются на печатной плате, на которую затем устанавливаются сцинтилляторы (рис.13).

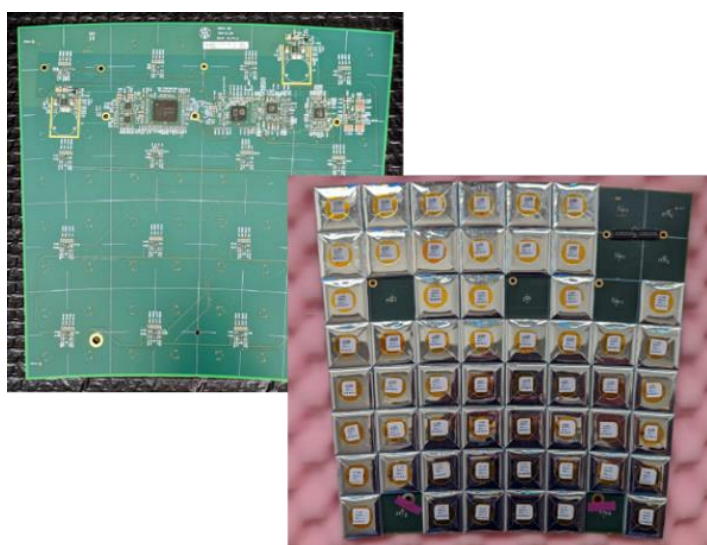


Рисунок 13. Ячейки сцинтиллятора, установленные на печатную плату.

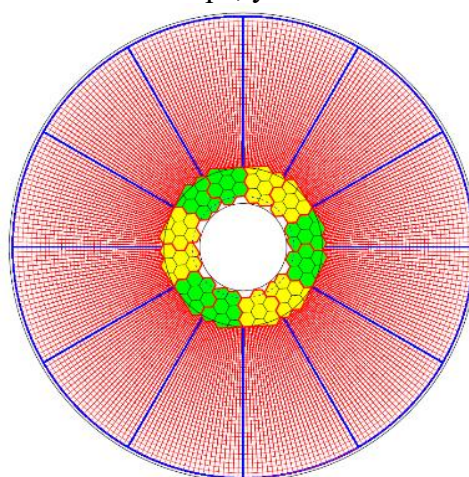


Рисунок 14. Расположение кремниевых пластин и сцинтилляционных ячеек в кольцевом слое CE-H.

Чтобы соответствовать геометрии торцевой части CMS, ячейки сцинтиллятора будут расположены радиально. В результате ячейки ближе к линии пучка будут значительно

меньше (4 см^2), чем ячейки на внешнем крае (32 см^2). Область, измеряемая сцинтиллятором, подразделяется на модули, которые образуют кольцевые сегменты площадью до $40\text{--}50 \text{ см}^2$ (рис. 14.).

Кассеты. Кассеты HGCal, представляют из себя 30 или 60 градусные сегменты, интегрирующие сенсорные модули и вспомогательную электронику на медной охлаждающей пластине. Это основные узлы детекторов HGCal, которые впоследствии собираются в диски CE-E секции, а в CE-H секции устанавливаются между слоями поглотителя. В первых семи слоях адронного калориметра используются кассеты с кремниевыми модулями, а остальные 14 кассет комбинированные в области сильной радиационной нагрузки установлены кремниевые модули и в области больших радиусов - сцинтилляторные пластины. Всего в калориметре используется 660 кассет различной конфигурации (общим весом более 430 т) (рис. 15).

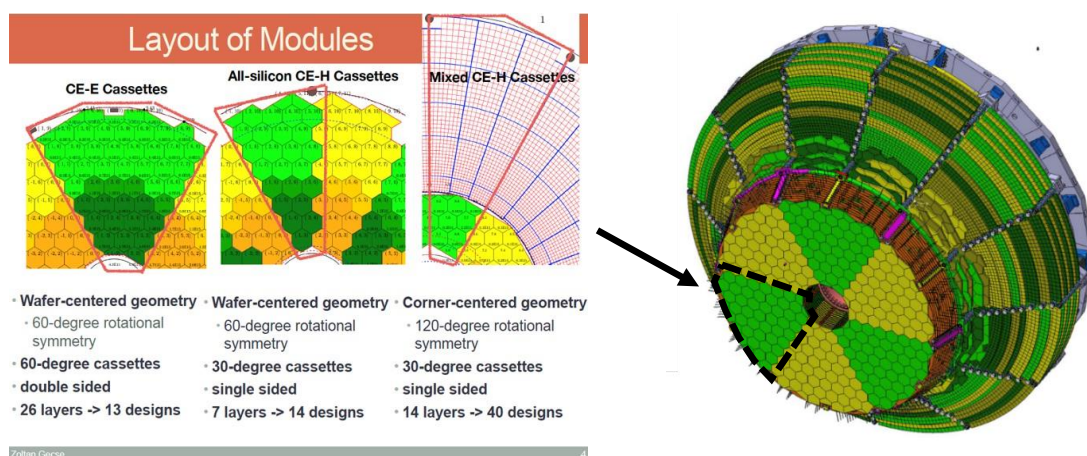


Рисунок 15. Конфигурация различных типов кассет HGCal.

В рамках подготовки ко второй фазе модернизации установки CMS ОИЯИ активно участвует в проекте создания калориметра с высокой гранулярностью HGCal по следующим основным направлениям:

- создание прототипов, охлаждающих пластин для кассет CE-H и разработка технологии их изготовления;
- создание стенда для проверки работоспособности и контроля характеристик кассет HGCal.

После сборки тестирование кассет будет осуществляться в условиях, близких к реальным, при температуре -30^0 С . Кассеты в количестве 10 штук устанавливаются в стойку, расположенную внутри теплоизолированной камеры размером $3,0 \times 3,0 \times 2,5 \text{ м}$. На рисунке 16 представлен внешний вид двух теплоизолированных камер, изготовленных и смонтированных в ЦЕРН.

Сверху и снизу теплоизолированной камеры расположены сцинтилляционные триггерные плоскости размером $2,4 \times 3,0 \text{ м}$ (рис.17), которые используются для проверки работоспособности и измерения характеристик детектирующих элементов и электроники считывания, расположенных на кассетах HGCal с помощью космических лучей. При прохождении космических частиц через набор тестируемых кассет срабатывание соответствующих сенсоров регистрируется считывающей электроникой и при совпадении с триггерным сигналом подтверждает работоспособность сенсора. Разработана Монте-Карло модель тестового стенда в космических лучах, с помощью которой оптимизированы размеры триггерных плоскостей и конфигурация пластин сцинтилляторов.



Рисунок 16. Теплоизолированные камеры стенда для проверки кассет HGCal.



Рисунок 17. Сцинтилляционные триггерные плоскости стенда для проверки кассет HGCal.

Дальнейшее участие ОИЯИ связано с работами по тестированию и сборке калориметра HGCal в течение длительной остановки LHC LS3 2026–2030 гг. Основные направления деятельности группы ОИЯИ в этот период:

- создание моделей геометрии для тестирования активных элементов создаваемого калориметра в различных конфигурациях;
- исследование откликов и восстановление траекторий частиц в установке для тестирования активных элементов создаваемого калориметра, а также оценки эффективности работы модулей;
- запуск HGCal, калибровка и мониторинг сигнала в ячейках HGCal;
- разработка новых подходов к алгоритмам реконструкции струй в HGCal.

В 2030 году планируется завершение проверки работоспособности установки CMS и запуск набора данных RUN4.

III. Исследование характеристик детекторных систем, обеспечение их работоспособности и набора данных

Исследование характеристик мюонных камер в период набора данных RUN3. Анализ экспериментальных данных RUN3 показывает стабильную и эффективную работу катодно-стриповых камер (CSC) в мюонной системе торцевой части установки CMS. Величины пространственного разрешения CSC, полученные в протон-протонных столкновениях для станций ME в RUN3 в 2024 г., хорошо согласуются с данными RUN2 (2018 г.) и свидетельствуют о стабильности работы CSC (рис. 18). В 2025–2026 гг. планируется продолжить изучение характеристик CSC в pp столкновениях на установке CMS.

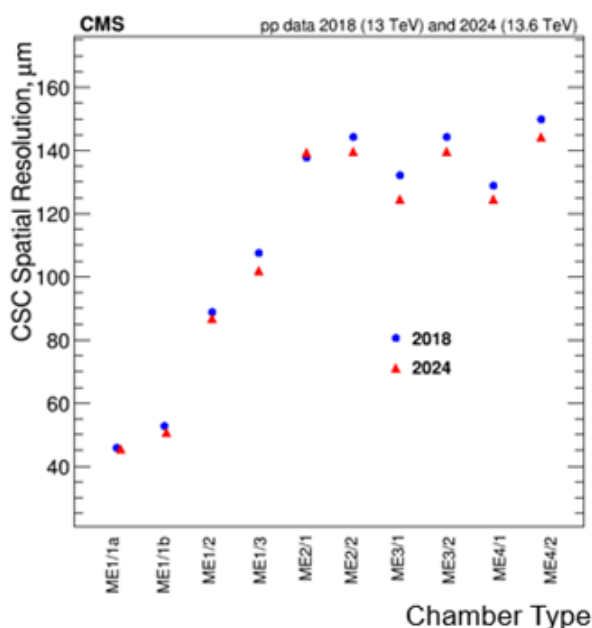


Рисунок 18. Пространственное разрешение мюонных станций ME торцевой части установки CMS по данным Run2 (2018 г.) и Run3 (2024 г.).

Исследования характеристик CSC на установке GIF++. Группа сотрудников ОИЯИ принимает активное участие в подготовке и проведении исследований характеристик катодно-стриповых камер на установке GIF++ в ЦЕРНе. Испытания проводятся на выведенном пучке мюонов H4 ускорителя SPS с гамма-источником GIF++ ^{137}Cs активностью 12 ТБк. с использованием коэффициентов поглощения от 4.6 до 100. Исследования нацелены на изучение характеристик детекторов при работе с газовыми смесями с различным содержанием CF_4 , а также изучение эффекта радиационного старения CSC и особенностей работы камер в условиях высокого фона. Результаты исследований показывают, что деградации характеристик камер ME1/1 и ME2/1 не наблюдается вплоть до величин накопленного заряда на сантиметр длины анодной проволоки 890 мКл и 805 мКл соответственно. На рисунке 19 приведено пространственное разрешение этих камер в зависимости от накопленного заряда в периоды облучения с использованием газовых смесей с различным содержанием CF_4 . Суммарные величины накопленного заряда для обеих камер в 3 раза выше, чем ожидается в период работы детекторов в режиме высокой светимости HL-LHC.

На первом этапе (I) использовалась номинальная газовая смесь CMS - 40%Ar+50%CO₂+10%CF₄, затем облучалась только камера ME1/1 со смесью 40%Ar+58%CO₂+2%CF₄ (II). В данный момент облучаются обе камеры со смесью

40%Ar+55%CO₂+5%CF₄ (III). Синими кружками показаны измерения, проведенные с газовой смесью, имеющей 10% CF₄, а красными треугольниками - с 5% содержанием CF₄.

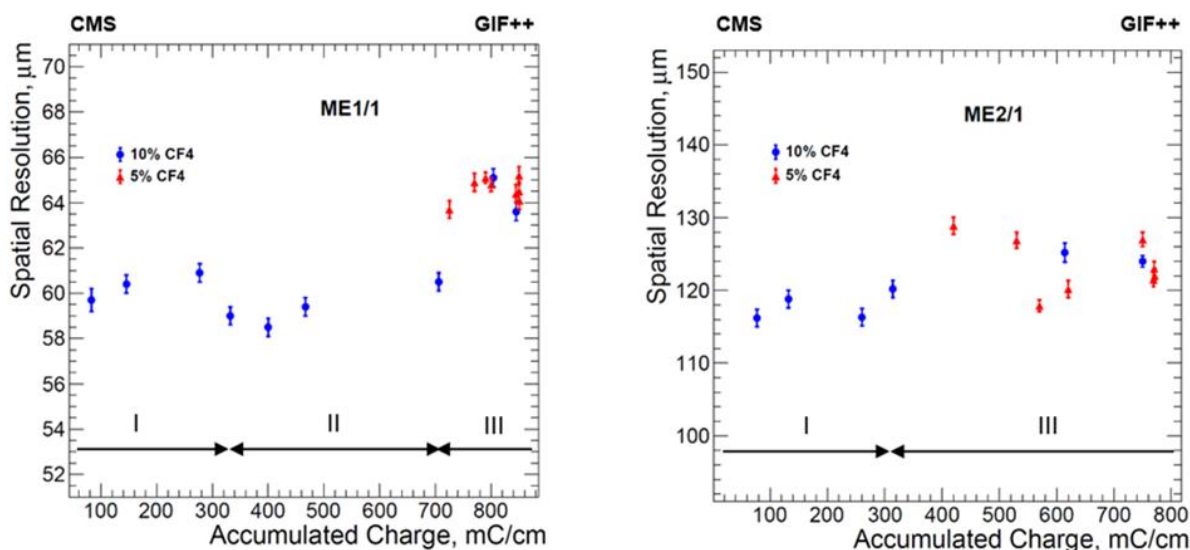


Рисунок 19. Пространственное разрешение камер ME1/1 (слева) и ME2/1 (справа), измеренное в мюонном пучке в зависимости от накопленного заряда на единицу длины анодной проволоки.

Физики ОИЯИ активно участвуют в экспериментах по изучению характеристик CSC при работе с новыми газовыми смесями и эффектов старения детекторов, которые проводятся как с лабораторными радиоактивными источниками, так и на установке GIF++ в ЦЕРН. Газ CF₄ – компонент состава рабочей газовой смеси детекторов CSC является представителем класса парниковых газов-флюорокарбонов с очень высоким потенциалом глобального потепления равным 7390. В ближайшее время использование подобных газов

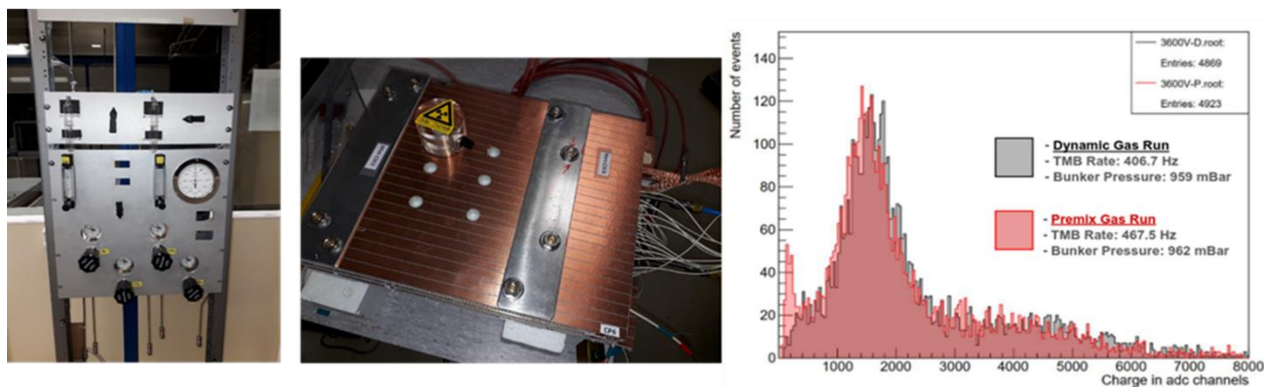


Рисунок 20. Газосмесительный стенд и mini-CSC (слева). Калибровка газового стенда с радиоактивным источником ¹⁰⁹Cd (справа).

будет резко ограничено. В связи с этим в дополнение к проводимым на установке GIF++ тестам CSC с использованием пониженного содержания CF₄ в газовой смеси было принято решение начать исследования новых смесей, исключающих парниковые газы в своем составе. Для проведения экспериментов по изучению эффектов старения камер и характеристик детекторов при работе с новыми экологически чистыми газовыми смесями разработан и создан газосмесительный стенд, а также шесть двухслойных mini-CSC с малой чувствительной областью 30×30 см² (рис.20). Калибровка газового стенда с источником

^{109}Cd показала идентичность газовых смесей $\text{Ar}+\text{CO}_2$ (40/60), произведенных газовым стендом и промышленным способом.

IV. Создание и развитие алгоритмов реконструкции физических объектов и отбора событий

Постепенное увеличение светимости и энергии пучка LHC напрямую влияет на работу детекторов и качество восстановления траекторий регистрируемых частиц. В связи с этим, необходимы быстрые и точные алгоритмы трекинга в детекторах CMS, а также разработка, тестирование и внедрение в экспериментальную установку новых детекторов, способных эффективно работать в столь сложных условиях набора данных.

Разработка программного обеспечения для эксперимента CMS будет развиваться по двум направлениям

- восстановления траектории космических мюонов в установке для тестирования активных элементов создаваемого калориметра высокой гранулярности (High Granularity Calorimeter, HGCal), а также оценки эффективности работы модулей HGCal;
- использование дискретного вейвлет-анализа для распознавания координат близко-пролетевших частиц из перекрывающихся сигналов в катодно-стриповых камерах (Cathode Strip Chambers, CSC). Оценка параметров работы детекторов CSC и уровня загрузки фоновыми частицами на экспериментальных данных при различных условиях набора.

Сотрудниками ОИЯИ разработан новый алгоритм реконструкции трек-сегментов, позволяющий регистрировать мюоны высоких энергий с высокой точностью и эффективностью и, соответственно более детально исследовать их свойства. Разработанный алгоритм был использован и оптимизирован для реконструкции мюонов в детекторах CSC торцевой мюонной системы CMS. Для улучшения точности реконструкции пространственной координаты в CSC был разработан новый алгоритм построения трек-сегментов с использованием «вейвлет-анализа». Новый алгоритм позволяет разделять до 4-х перекрывающихся сигналов на стрипах с высокой точностью. Результат реконструкции перекрывающихся сигналов в CSC камере представлен на рисунке 21, где зеленой линией показано моделирование координаты мюона; желтой – исходное распределение сигнала; синей – координата, восстановленная стандартным алгоритмом; красной – перекрывающиеся сигналы, распознанные новым алгоритмом.

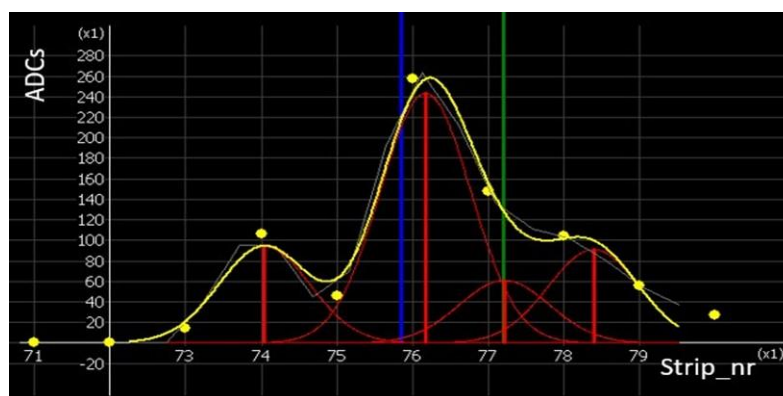


Рисунок 21. Реконструкции перекрывающихся сигналов в плоскости CSC.

Алгоритм протестирован на данных Монте-Карло и экспериментальных данных, а затем включен в программное обеспечение эксперимента CMSSW и является основным алгоритмом для реконструкции трек-сегментов в CSC. Разработка метода разделения

перекрывающихся сигналов в CSC позволила повысить точность измерения азимутальной координаты мюонов, а также обеспечила восстановление траектории мюонов с хорошей эффективностью в условиях больших нагрузок в катодно-стриповых камерах, ожидаемых в режиме работы коллайдера с высокой светимостью HL-LHC.

V. Поддержка и развитие грид-инфраструктуры ОИЯИ для эксперимента CMS центров Tier-1 и Tier-2.

Грид-инфраструктура ОИЯИ для эксперимента CMS, включает центры Tier-1 и Tier-2, которые активно используются для моделирования, обработки и хранения данных и обеспечивают 100% доступность и надёжность сервисов. В 2024 году на Tier-1 ОИЯИ было успешно обработано более 2,1 млрд событий. По доле успешно выполненных задач (18%) Tier-1 ОИЯИ занимает второе место среди всех центров Tier-1 эксперимента CMS в мире (рис. 22).

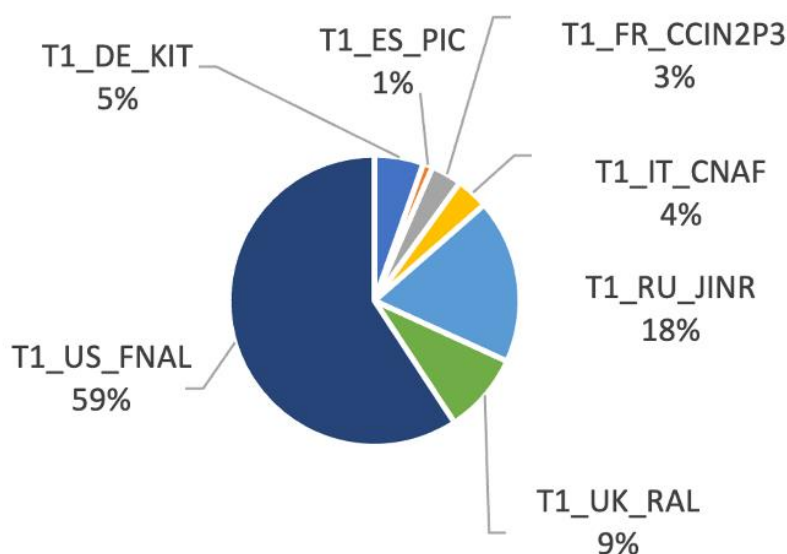


Рисунок 22. Количество событий, обработанных центрами Tier-1 CMS.

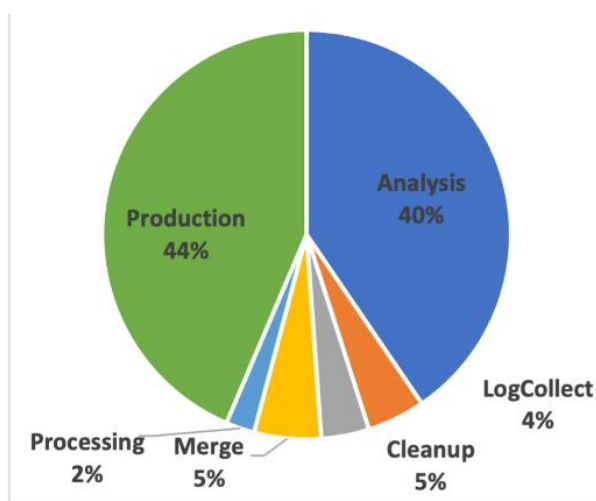


Рисунок 23. Соотношение типов работ, выполненных центром Tier-2 ОИЯИ в 2024 г.

Более 1,2 млн работ CMS было выполнено центром Tier-2 ОИЯИ в течение 2024 г., большинство из них — производство событий и анализ Монте-Карло. На рисунке 23

представлено процентное соотношение типов работ, выполненных центром Tier-2 ОИЯИ в 2024 г.

Ожидаемые результаты по завершении проекта (к 2030 г.).

- 1. Реализации программы физических исследований на экспериментальной установке CMS при проектной энергии взаимодействий пучков протонов и интегральной светимости до 500 фбн⁻¹.
- 2. Выполнение обязательств ОИЯИ по второй фазе модернизации экспериментальной установки CMS для работы в условиях HL- LHC, включая создание калориметра высокой гранулярности HGCal и модернизацию детекторов мюонной станции ME1/1.
- 3. Ведение в эксплуатацию после модернизации и обеспечение работы во время набора данных адронной калориметрии и мюонной станции ME1/1, проведение экспериментов на LHC.

2.3. Предполагаемый срок выполнения
2026-2030 гг. (пять лет)

2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ
ЛФВЭ, ЛИТ, ЛТФ

2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК

Вычислительный центр Tier-1 ОИЯИ, входит в Grid инфраструктуру CMS, предназначенную для обработки и хранения экспериментальной информации эксперимента CMS.

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

2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
НЕРНУ	Австрия	Вена	Вульц К.-Э. + 57 чел.	Совместные работы
ННЛА	Армения	Ереван	Тумасян А. + 6 чел.	Совместные работы
ГГУ	Беларусь	Гомель	Андреев В.В. Максименко Н.В. + 1 чел.	Обмен визитами Совместные работы
НИИ ЯП БГУ		Минск	Литомин А.В.	Совместные работы

			Макаренко В.В. + 3 чел. Чеховский В.А. + 2 чел.	Обмен визитами
UAntwerp	Бельгия	Антверпен	Ван Мехелен П. + 15 чел.	Совместные работы
ULB		Брюссель	Ванлаер П. + 31 чел.	Совместные работы
VUB			Д'Хондт Ю. + 11 чел.	Совместные работы
Ugent		Гент	Титгат М. + 21 чел.	Совместные работы
KU Leuven		Лёвен	Леро П. + 4 чел.	Совместные работы
UCL		Лувен-ля-Нёв	Далаере К. + 26 чел.	Совместные работы
UMONS		Монс	Доби Е.	Совместные работы
INRNE BAS	Болгария	София	Султанов Г. + 17 чел.	Совместные работы
SU			Литов Л. + 13 чел.	Совместные работы
CBPF	Бразилия	Рио-де-Жанейро	Алвес Г. + 8 чел.	Совместные работы
UERJ			Мундим Л. + 39 чел.	Совместные работы
Unesp		Сан-Паулу	Новаес С. + 23 чел.	Совместные работы
Ун-т	Великобритания	Бристоль	Голдштейн Ж. + 24 чел.	Совместные работы
RAL		Дидкот	Шеферд-Земистоклиус К. + 37 чел.	Совместные работы
Imperial College		Лондон	Бухмюллер О. + 51 чел.	Совместные работы
Wigner RCP	Венгрия	Будапешт	Сиклер Ф. + 8 чел.	Совместные работы
Atomki		Дебрецен	Молнар Ж. + 6 чел.	Совместные работы
UD			Ужвари Б. + 2 чел.	Совместные работы
RWTH	Германия	Ахен	Стал А. + 14 чел.	Совместные работы
			Фелд Л. + 17 чел.	
			Хеббекер Т. + 53 чел.	
DESY		Гамбург	Галло Е. + 110 чел.	Совместные работы
Ун-т			Шлепер П. + 76 чел.	Совместные работы

KIT		Карлсруэ	Мюллер Т. + 90 чел.	Совместные работы
INP NCSR "Demokritos"	Греция	Афины	Лукас Д. + 10 чел.	Совместные работы
NTU			Циполитис Г. + 8 чел.	Совместные работы
UoA			Сфикас П. + 26 чел.	Совместные работы
UI		Янина	Фудас К. + 14 чел.	Совместные работы
GTU	Грузия	Тбилиси	Цамалаидзе З. + 11 чел.	Совместные работы
HEPI-TSU			Цамалаидзе З. + 1 чел.	Совместные работы
NISER	Индия	Джатни	Свеин С.К. + 24 чел.	Совместные работы
SINP		Калькутта	Саркар С. + 31 чел.	Совместные работы
BARC		Мумбаи	Пант Л.М. + 8 чел.	Совместные работы
TIFR			Дугад С. + 14 чел. Мазумдар К. + 19 чел.	Совместные работы
PU		Чандигарх	Бхатнагар В. + 19 чел.	Совместные работы
IPM	Иран	Тегеран	Мохаммади М. + 6 чел.	Совместные работы
UCD	Ирландия	Дублин	Грюнвальд М. + 1 чел.	Совместные работы
CIEMAT	Испания	Мадрид	Алькарас Маестре Х. + 49 чел.	Совместные работы
UAM			Де Трокониз Й. + 1 чел.	Совместные работы
UO		Овьедо	Кавас Х. + 12 чел.	Совместные работы
IFCA		Сантандер	Мартинес Риверо К. + 35 чел.	Совместные работы
INFN	Италия	Бари	Пульезе Г. + 54 чел.	Совместные работы
INFN		Болонья	Фаббри Ф. + 44 чел.	Совместные работы
INFN		Генуя	Ферро Ф. + 10 чел.	Совместные работы
INFN LNS		Катания	Трикоми А. + 8 чел.	Совместные работы
INFN		Милан	Геззи А. + 41 чел.	Совместные работы
INFN		Неаполь	Фабоззи Ф. + 20 чел.	Совместные работы

INFN		Павия	Бражери А. + 19 чел.	Совместные работы
INFN		Падуа	Россин Р. + 81 чел.	Совместные работы
INFN		Перуджа	Москателли Ф. + 37 чел.	Совместные работы
INFN		Пиза	Вентури А. + 58 чел.	Совместные работы
INFN		Рим	Параматти Р. + 29 чел.	Совместные работы
INFN		Триест	Делла Рикка Д. + 7 чел.	Совместные работы
INFN		Турин	Солано А. + 77 чел.	Совместные работы
INFN		Флоренция	Паолетти С. + 31 чел.	Совместные работы
INFN LNF		Фраскати	Пикколо Д. + 8 чел.	Совместные работы
UCY	Кипр	Никосия	Разис П.А. + 13 чел.	Совместные работы
"Tsinghua"	Китай	Пекин	Ху Ж. + 6 чел.	Совместные работы
IHEP CAS			Чен М. + 54 чел.	Совместные работы
PKU			Мао Я. + 30 чел.	Совместные работы
ZJU		Ханчжоу	Хао М. + 9 чел.	Совместные работы
VU	Литва	Вильнюс	Ринкевисиус А. + 33 чел.	Совместные работы
Cinvestav	Мексика	Мехико	Кастилла Вальдез Х. + 10 чел.	Совместные работы
BUAP		Пуэбла	Салазар Ибаргуен У. А. + 8 чел.	Совместные работы
TU/e	Нидерланды	Эйндховен	Эртс А. + 2 чел.	Совместные работы
UC	Новая Зеландия	Крайстчерч	Батлер Ф. + 4 чел.	Совместные работы
Ун-т		Окленд	Крофчек Д. + 2 чел.	Совместные работы
QAU	Пакистан	Исламабад	Хурани Х.Р. + 26 чел.	Совместные работы
CNU	Республика Корея	Кванджу	Мун Д.Х. + 5 чел.	Совместные работы
KU		Сеул	Чои С. + 18 чел.	Совместные работы
SJU			Ким Х. + 4 чел.	Совместные работы
SKKU			Чои Я. + 9 чел.	Совместные работы

SNU			Янг У. + 23 чел.	Совместные работы
Yonsei Univ.			Йо Х.Д. + 2 чел.	Совместные работы
KIST		Тэджон	Рю Г. + 4 чел.	Совместные работы
INS "VINCA"	Сербия	Белград	Аджич П. + 9 чел.	Совместные работы
UIowa	США	Айова-Сити	Онел Я. + 48 чел.	Совместные работы
JHU		Балтимор	Шварц М. + 19 чел.	Совместные работы
Fermilab		Батавия	Канепа А. + 197 чел.	Совместные работы
BU		Бостон	Рольф Д. + 31 чел.	Совместные работы
NU			Барбери Э. + 26 чел.	Совместные работы
CU		Боулдер	Кумалат Д.П. + 20 чел.	Совместные работы
UB		Буффало	Харчилава А. + 15 чел.	Совместные работы
UF		Гейнсвилл	Мицельмахер Г.В. + 38 чел.	Совместные работы
UCDavis		Дейвис	Конвей Д. + 33 чел.	Совместные работы
WSU		Детройт	Карчин П.Э. + 2 чел.	Совместные работы
Cornell Univ.		Итака	Рид А. + 46 чел.	Совместные работы
MIT		Кембридж, МА	Паус К. + 40 чел.	Совместные работы
UMD		Колледж-Парк	Скуджа А. + 34 чел.	Совместные работы
Texas A&M		Колледж-Стэйшн	Сафонов А. + 27 чел.	Совместные работы
OSU		Колумбус	Хилл К. + 10 чел.	Совместные работы
TTU		Лаббок	Акчурин Н. + 17 чел.	Совместные работы
LLNL		Ливермор	Райт Д. + 1 чел.	Совместные работы
UNL		Линкольн	Блум К. + 24 чел.	Совместные работы
KU		Лоренс	Бин А. + 39 чел.	Совместные работы
UCLA		Лос-Анджелес	Казинс Р. + 20 чел.	Совместные работы
KSU		Манхеттен	Маравин Ю. + 14 чел.	Совместные работы

U of M		Миннеаполис	Русак Р. + 22 чел.	Совместные работы
UW-Madison		Мэдисон	Дасу Ш. + 55 чел.	Совместные работы
VU		Нашвилл	Джонс В. + 44 чел.	Совместные работы
UTK		Ноксвилл	Спанер С. + 6 чел.	Совместные работы
ND		Нотр-Дам	Жессоп К. + 36 чел.	Совместные работы
RU NB		Нью-Брансуик	Герштейн Ю. + 82 чел.	Совместные работы
RU		Нью-Йорк	Гулианос К. + 2 чел.	Совместные работы
UM		Оксфорд, MS	Кремальди Л.М. + 6 чел.	Совместные работы
Caltech		Пасадена	Ньюмен Х. + 29 чел.	Совместные работы
CMU		Питтсбург	Паулини М. + 13 чел.	Совместные работы
PU		Принстон	Олсен Д. + 44 чел.	Совместные работы
Brown		Провиденс	Нарейн М. + 46 чел.	Совместные работы
UCR		Риверсайд	Хансон Г. + 20 чел.	Совместные работы
UR		Рочестер	Бодек А. + 8 чел.	Совместные работы
SDSU		Сан-Диего	Брэнсон Д. + 34 чел.	Совместные работы
UCSB		Санта-Барбара	Инкандела Д. + 36 чел.	Совместные работы
FSU		Таллахасси	Проспер Х. + 26 чел.	Совместные работы
UA		Таскалуса	Хедерсон К. + 11 чел.	Совместные работы
BU		Уэйко	Хатакама К. + 14 чел.	Совместные работы
Purdue Univ.		Уэст-Лафейетт	Парапар Н. + 4 чел.	Совместные работы
Rice Univ.		Хьюстон	Падли Б.П. + 28 чел.	Совместные работы
UIC		Чикаго	Гиббер С.Е. + 26 чел.	Совместные работы
UVa		Шарлотсвилл	Кокс Б. + 20 чел.	Совместные работы
NU		Эванстон	Веласко М. + 14 чел.	Совместные работы
NTU	Тайвань	Тайбэй	Ху Г. + 38 чел.	Совместные работы

NCU		Таоюань	Ку Ч.-М. + 28 чел.	Совместные работы
CU	Турция	Адана	Думаноглу Л. + 34 чел.	Совместные работы
METU		Анкара	Зейрек М. + 25 чел.	Совместные работы
BU		Стамбул	Гюльмец Е. + 17 чел.	Совместные работы
YTU			Канкокак К. + 10 чел.	Совместные работы
LUT	Финляндия	Лаппеэнранта	Тува Т. + 4 чел.	Совместные работы
HIP		Хельсинки	Вутилайнен М. + 41 чел.	Совместные работы
UH			Вутилайнен М. + 4 чел.	Совместные работы
UL	Франция	Лион	Гаскон С. + 51 чел.	Совместные работы
IN2P3		Париж	Бодэ Ф. + 55 чел.	Совместные работы
IRFU		Сакле	Бесанкон М. + 30 чел.	Совместные работы
IPHC		Страсбург	Блох Д. + 40 чел.	Совместные работы
RBI	Хорватия	Загреб	Брижлевич В. + 10 чел.	Совместные работы
Ун-т		Сплит	Ковач М. + 1 чел. Пуляк И. + 12 чел.	Совместные работы
Ун-т	Черногория	Подгорица	Рачевич Н. + 4 чел.	Совместные работы
PSI	Швейцария	Виллиген	Котлински Д. + 11 чел.	Совместные работы
ETH		Цюрих	Валлини Р. + 70 чел.	Совместные работы
UZH			Канелли М.Ф. + 27 чел.	Совместные работы
ЦЕРН		Женева	Кампорези Т. + 302 чел.	Соглашение
NICPB	Эстония	Таллин	Радал М. + 20 чел.	Совместные работы

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)

См. п.2.5

3. Кадровое обеспечение

3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE	Ассоциированный персонал, сумма FTE
1.	научные работники	24,5	15,2
2.	инженеры	7,9	0
3.	специалисты	2,5	0
4.	администрация	1	0
5.	рабочие		0
	Итого:	34,5	15,2

3.2. Доступные кадровые ресурсы

3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1	научн. работник	Матвеев В.А.	Руководство ОИЯИ	научный руководитель ОИЯИ	0,1
2	научн. работник	Алексахин В.Ю.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	нач. сектора	1
3	научн. работник	Афанасьев С.В.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	нач. сектора	0,2
4	научн. работник	Будковский Д.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	инженер	0,8
5	инженер	Бунин П.Д.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	ст. инженер	1
6	инженер	Голунов А.О.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	вед. инженер	1
7	научн. работник	Горбунов И.Н.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	с.н.с.	1
8	научн. работник	Горбунов Н.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	нач. сектора	1
9	специалист	Голова Н.С.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	ст. специалист	1
10	инженер	Ершов Ю.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	вед. инженер	1
11	научный работник	Каменев А.Ю.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	с.н.с.	1
12	научный работник	Каржавин В.Ю.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	нач. отдела	1
13	специалист	Кильчаковская С.В.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	монтажник	1
14	специалист	Кобылец Л.Г.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	инженер	1
15	стажер студент	Козлов Д. Н.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	лаборант	0,5
16	инженер	Куренков А.М.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	вед. инженер	1

17	инженер	Кутинова О.В.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	стажер-исследователь	0,3
18	научный работник	Ланев А.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	в.н.с.	1
19	научный работник	Маканькин А.М.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	ст. инженер	0,4
20	научный работник	Малахов А.И.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	нач. отдела	0,2
21	инженер	Мильнов Г.Д.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	м.н.с.	0,3
22	научный работник	Перелыгин В.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	с.н.с.	1
23	инженер	Сакулин Д.Г.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	инженер	0,3
24	научный работник	Смирнов В.А.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	г.н.с.	1
25	инженер	Сухов Е.В.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	м.н.с.	0,4
26	инженер	Устинов В.В.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	м.н.с.	0,4
27	научный работник	Шалаев В.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	н.с.	1
28	научный работник	Шульга С.Г.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	в.н.с.	1
29	научный работник	Зарубин А.В.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	в.н.с.	1
30	научный работник	Жижин И.А.	ЛФВЭ, НЭОФ CMS	н.с.	1
31	научный работник	Зайцев А.А.	ЛФВЭ, НЭОФТИ	с.н.с.	0,2
32	научный работник	Шматов С.В.	руководство	директор лаборатории	0,3
33	научный работник	Коренков В.В.	руководство	научный руководитель лаборатории	0,2
34	инженер	Голунов А.О.	ЛИТ, НТОВКиРИС	инженер- прог. 1 кат.	0,4
35	инженер	Долбилов А.Г.	ЛИТ, СИСТ	гл. инженер	0,2
36	инженер	Кашунин И.А.	ЛИТ, НТОВКиРИС	инженер- прог. 2 кат.	0,4
37	научн. работник	Хведелидзе А.	ЛИТ, НОВФ	нач. сектора	0,2
38	научн. работник	Кодолова О.Л	ЛИТ, НОВФ	в.н.с.	1
39	научн. работник	Корсаков Ю.В.	ЛИТ, НОВФ	стажер- исследователь	1
40	научн. работник	Мицын В.В.	ЛИТ, НТОВКиРИС	с.н.с.	0,5
41	научн. работник	Мойбенко А.Н.	ЛИТ, НТОВКиРИС	с.н.с.	0,4
42	научн. работник	Никитенко А.Н.	ЛИТ, НОВФ	в.н.с.	1
43	научн. работник	Войтишин Н.Н.	руководство	зам. директора	0,5
44	научн. работник	Ососков Г.А.	ЛИТ, НОВФ	г.н.с.	0,3
45	научн. работник	Олейник Д.А.	ЛИТ, НТОВКиРИС	с.н.с.	0,1
46	научн. работник	Пальчик В.В.	НТОПиИО	в.н.с.	1
47	научн. работник	Петросян А.С.	ЛИТ, НТОВКиРИС	с.н.с.	0,1
48	научн. работник	Сатышев И.	ЛИТ, НОВФ	н.с.	0,4

49	научн. работник	Слижевский К.В.	ЛИТ, НОВФ	стажер-исследователь	1
50	научн. работник	Стриж Т.А.	руководство	зам. научного руководителя лаборатории	0,2
51	научн. работник	Толочко Э.Н.	ЛИТ, НОВФ	н.с.-стипендиат	0,3
52	инженер	Трофимов В.В.	ЛИТ, НТОВКиРИС	вед. программист	0,4
53	научн. работник	Казков Д. И.	руководство	директор лаборатории	0,1
54	научн. работник	Г.А.Козлов	ЛТФ, НОТФВ	в.н.с.	0,5
55	научн. работник	Савина М.В.	ЛТФ, НОТФВ	с.н.с.	0,7
56	научн. работник	Теряев О.В.	руководство	зам. директора	0,1
57	научн. работник	Зыкунов В.А.	ЛТФ, НОТФВ	в.н.с.	0,5

3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники	НИИЯФ МГУ, ИТЭФ, ИЯИ РАН, ТГУ, МФТИ, МИФИ, ФИАН, НГУ/ИЯФ	15,2
2.	инженеры		
3.	специалисты		
4.	рабочие		
	Итого:		15,2

4. Финансовое обеспечение

4.1. Полная сметная стоимость проекта / подпроекта КИП

Полная сметная стоимость проект – **6577 kUSD**.

Оценка стоимости настоящего проекта связана с официальными обязательствами ОИЯИ по участию в эксперименте CMS, которые отражены в меморандуме о взаимопонимании по созданию детектора CMS (CERN-RRB-2024-039) и в соответствующих приложениях к нему: Addendum №10 (CERN-MoU-2024-010), Addendum №13 (CERN-MoU-2019-008), Addendum №14 (CERN-MoU-2019-009), Addendum №15 (CERN-MoU-2019-036), Меморандумом о взаимопонимании по участию ОИЯИ в проекте HGCal CMS (CMS2020-010).

Основные статьи расходов

- Вклад ОИЯИ в эксперимент CMS в виде общих взносов определен в документе CERN-MoU-2024-010 (добавление к приложению №10 к меморандуму о сотрудничестве в создании CMS), а также в документах CERN-RRB-2024-116 и CERN-RRB апрель 2025.
- Оплата взноса по категории А (М&О-А) определяется числом авторов ОИЯИ в CMS, которое в настоящий момент составляет 24. На 5-летний период действия настоящего проекта сумма вклада по категории А составляет 1300 kUSD (260 kUSD в год).

- Сумма взноса по категории Б (М&О-В) составит 365 kUSD (73 kUSD в год).
- Расходы на оборудование составят 962 kUSD, куда входит приобретение электронных плат (Front-end tileboards and DAQ) на сумму 792 kUSD в зачет Core и изготовление высоковольтных кабеле для CSC мюонной станции ME1/1 – вклад in-kind по категории Б.
- Расходы на материалы для работ по модернизации мюонной системы и HGCAI составят 500 kUSD (80 kUSD в год).
- Командировочные расходы в целом за 5 лет составят 3450 kUSD (690 kUSD в год). Включая 565 kUSD в зачет Core, 1070 kUSD в зачет по категории Б и 825 kUSD в счет работ по модернизации (2460 kUSD в сумме).

Полный объем вклада в CORE составляет 1357 kUSD.

Ниже приведены предлагаемый план-график, необходимые ресурсы и смета затрат по настоящему проекту.

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: 2026

(для продлеваемых проектов) — год начала работ по проекту: 2010 г.

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			2026 г. (1 год)	2027 г. (2 год)	2028 г. (3 год)	2029 г. (4 год)	2030 г. (5 год)	
	Международное сотрудничество (МНТС)	5115	1023	1023	1023	1023	1023	
	Материалы	500	100	100	100	100	100	
	Оборудование и услуги сторонних организаций	962	413	293	123	123	10	
	Пуско-наладочные работы							
	Услуги научно-исследовательских организаций							
	Приобретение программного обеспечения							
	Проектирование/строительство							
	Сервисные расходы (в случае прямой принадлежности к проекту)							
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы						
		– сумма FTE,						
		– ускорителя, установки,						
		– реактора,...						
Источники финансирования	Бюджетные	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	6577	1536	1416	1246	1246	1133
	Внебюджет	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

Руководитель проекта

_____ / _____ /

Экономист Лаборатории

_____ / _____ /

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребность и в ресурсах	Стоимость, распределение по годам					
			2026 г. (1 год)	2027 г. (2 год)	2028 г. (3 год)	2029 г. (4 год)	2030 г. (5 год)	
	Международное сотрудничество (МНТС)	5115	1023	1023	1023	1023	1023	
	Материалы	500	100	100	100	100	100	
	Оборудование и услуги сторонних организаций	962	413	293	123	123	10	
	Пуско-наладочные работы							
	Услуги научно-исследовательских организаций							
	Приобретение программного обеспечения							
	Проектирование/строительство							
	Сервисные расходы (в случае прямой принадлежности к проекту)							
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы						
		– сумма FTE,						
		– ускорителя, установки,						
		– реакторы,...						
Источники финансирования	Бюджетные	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	6577	1536	1416	1246	1246	1133
	Внебюджет	Вклады соисполнителей						
		Средства по договорам с заказчиками						
		Другие источники финансирования						

Руководитель проекта
Экономист Лаборатории

 Морозов В.В.



ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

СМС.ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЭКСПЕРИМЕНТЕ СМС И ВТОРАЯ ФАЗА
МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ
СВЕТИМОСТИ.

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА

ШИФР ПРОЕКТА

ШИФР ТЕМЫ05-6-1083-2009/...

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА Каржавин Владимир Юрьевич

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