

Новый электромагнитный калориметр для эксперимента COMPASS в ЦЕРНе

Мировая наука, 08 июля 2016

Эксперимент [COMPASS](#) был задуман как «Общая Мюонная и Протонная установка для изучения Структуры и Спектроскопии Адронов», для изучения физических задач в области структуры и спектроскопии адронов. Детектор состоит из многоцелевого высокоточного спектрометра и самой большой в мире поляризованной мишени. Ядра, дейтерий или водород, входящие в состав рабочего вещества мишени ${}^6\text{LiD}$ или NH_3 , могут быть поляризованы продольно или поперечно и сохранять направление «замороженной» поляризации в течение длительного времени. COMPASS размещен на уникальном канале SPS M2 в [ЦЕРНе](#), который формирует пучки пионов или поляризованных мюонов в области энергий между 50 ГэВ и 280 ГэВ. Установка COMPASS доказала свою жизнеспособность, так как дает уникальную возможность в ближайшем будущем найти решения целого ряда фундаментальных проблем как в структуре нуклона, так и в адронной спектроскопии.

Эксперимент COMPASS-II, одобренный в 2010 году, уже заложил основу для проведения исследований 3-х мерной структуры нуклона на следующее десятилетие. Одной из главных задач COMPASS-II является изучение Обобщенных партонных функций распределений (GPD) в нуклонах. Последние теоретические разработки GPD, на основе экспериментальных данных, позволяют получить информацию по поперечной локализации партона в нуклоне, как функцию от доли поперечного импульса нуклона, которую уносит партон. Получение такой 3х-мерной картины называют «томографией нуклона». Кроме того, концепция GPD, привлекла большое внимание ученых после того, как было показано, что полный угловой момент определенного вида партонов, J^f для кварков ($f = u; d \text{ or } s$) или J^g для глюонов, который зависит от второго момента суммы двух GPDs H и E . Получение данных по этим GPD через измерения эксклюзивного Глубоко Виртуального Комптоновского Рассеяния (DVCS), $\mu p \rightarrow \mu' \gamma p$, или Глубоко Виртуального Рассеяния с Рождением Мезонов (DVMP), $\mu p \rightarrow \mu M p$, является единственно известным способом определить компоненты «вклада» в спина нуклона $1/2 = \sum_{f=u,d,s} J^f + J^g$. Реакции DVCS и DVMP являются эксклюзивными. Для того, чтобы померить их сечения, существующая установка COMPASS должна быть дополнена 2-мя новыми детекторами – Детектором протонов отдачи (RPD), измеряющего характеристики протонов, и электромагнитным калориметром ECAL0 перед первым магнитом (SM1) спектрометра (рис.1). Внутри RPD будет установлена новая жидководородная мишень длиной 2,5 м. ECAL0 обеспечит перекрытие существенно больших кинематических областей реакций по сравнению с существующими калориметрами ECAL1 и ECAL2. ECAL0 был предложен и разработан в ОИЯИ в сотрудничестве с группами физиков из Мюнхена, Фрайбурга, Варшавы, Сакле (Франция), Праги, ЦЕРНа и коллегами из Харькова (Украина).

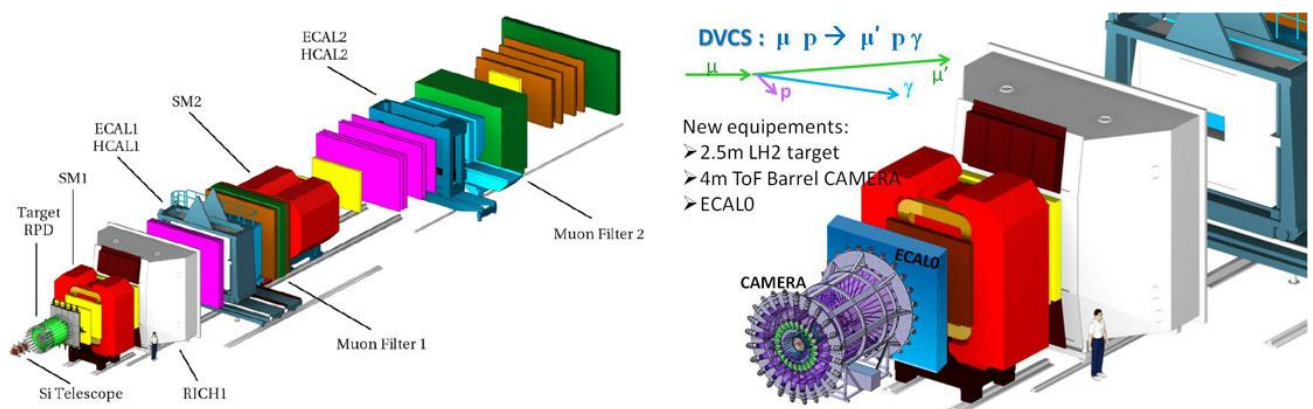


Рисунок 1: Экспериментальная установка КОМПАСС (слева) и передняя часть спектрометра, дополненная детекторами для изучения обобщенных партонных распределений

Новый электромагнитный калориметр является уникальным прибором, типа “шашлык” (сцинтиллятор, свинец), в котором применены самые современные фотоприемники – микропиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД) с ультравысокой плотностью пикселей (до 15 тыс. пикселей/мм²), вместо традиционных фотоэлектронных умножителей. Такой выбор обоснован положением ECAL0 в установке, калориметр должен работать в сильном рассеянном магнитном поле (близость к магниту SM1, рис. 1). МЛФД впервые применены для электромагнитного калориметра в крупных физических установках. Следует отметить, что уже более 20 лет этот тип фотодетекторов разрабатывается и тестируется во многих институтах. ОИЯИ является одним из ведущих центров в этой области. МЛФД плотностью пикселей (15 тыс. пикселей/мм²), разработанные в нашем институте группой под руководством З. Садыгова (ЛЯП), были использованы в калориметре в составе экспериментальной установки КОМПАСС в 2012 году, во время тестового набора данных. Для этого были собраны более четверти модулей калориметра. Все системы работали хорошо. Была начата финальная стадия производства калориметра. 250 модулей были произведены и протестированы в Институте Сцинтилляционных Материалов, г. Харьков, Украина. В декабре 2013 году модули были доставлены в ЦЕРН. Дальнейшие тесты МЛФД для калориметра, связанные с новыми физическими задачами – использование этого детектора в интенсивных пучках адронов – привели к необходимости применения новых быстрых МЛФД фирмы Hamamatsu типа MPPC S12572-10P (10 тыс. пикс/мм²). Разработка, производство и тестирование блоков регистрации на основе этих МЛФД заняла почти полтора года и была успешно выполнена в сотрудничестве с российской компанией Rusalox (г. Владимир). Это российская компания является производителем плат с повышенной теплопроводностью на основе алюмооксидной технологии, обеспечивающей высокую эффективность охлаждения любых тепловыделяющих электронных компонентов. Печатные платы, произведенные по алюмооксидной технологии, состоят из проводящего слоя алюминия и диэлектрического материала, имеющего нанопористую структуру. Нам потребовался новый технологический процесс – сверление отверстий их оксидирования и металлизация, при этом токи утечки должны были быть на уровне пикоампера при напряжении 100 В. В ОИЯИ выполнялась припайка пинов и приклейка МЛФД к алюмооксидной плате, приклейка конусов Винстона к МЛФД. Первые блоки регистрации были готовы к началу июня 2015 года и в конце июня 2015 20 блоков регистрации были поставлены в ЦЕРН и протестированы на пучке. В результате – после 8-ми лет напряженной работы по разработке и оптимизации систем детектора, многочисленных тестов прототипов модулей и системы считывания калориметра на пучках в ЦЕРНе, комплексе ЭЛСА (Бонн) и в ДЕЗИ (Гамбург) был разработан финальный вариант модуля калориметра, показанный на рисунке 2.

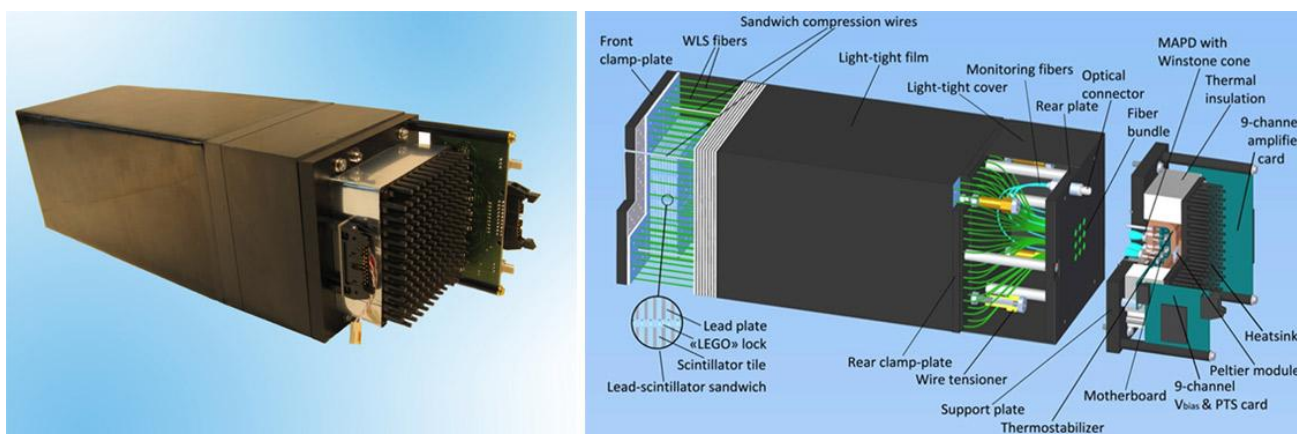


Рисунок 2: Модуль калориметра ECAL0

Создание, отладка и тестирование блоков регистрации с калориметрическими модулями были выполнены в ОИЯИ в 2014–2016 годах. Важно отметить, что система питания, контроля и термостабилизации были разработаны и произведены фирмой HVSYС на базе ОИЯИ. Система считывания (АЦП) и усилители были созданы группами из Мюнхена и Варшавы. Группа из Праги изготовила оптические разветвители для системы мониторинга и контроля.

В марте–апреле 2016 года ECAL0 был полностью собран, проверен и включен в состав установки КОМПАСС, и в данный момент успешно используется для набора данных. Основные свойства нового калориметра можно сформулировать таким образом: ECAL0 эффективно регистрирует прямые фотоны реакций $DVSC$ и $DVMP$ в широком диапазоне энергий (0,2–40 ГэВ); и вместе с ECAL1 (Рис.1) эффективно регистрирует π^0 , что позволяет существенно снизить фон от фотонов, которые рождаются от распада π^0 ; дают возможность для дополнительных измерений реакций с выходом других мезонов. Такие свойства нашего прибора существенно расширяют диапазон измерений с минимальными систематическими неопределенностями.

Стабильная работа нашего калориметра уже в первые месяцы набора данных была отмечена руководством коллаборации КОМПАСС. Мы ожидаем получения новых физических результатов с данными от ECAL0 уже в 2017 году.

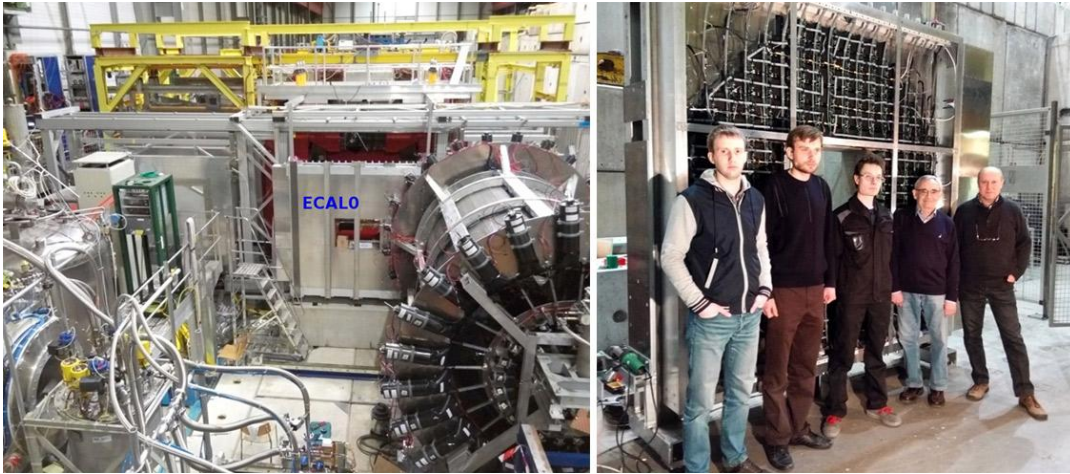


Рисунок 3: Собранный и подготовленный к работе калориметр в составе установки КОМПАСС

Зиновий Крумштейн, Александр Нагайцев, Александр Ольшевский, Игорь Савин