

Связанные Хиггсом. Физики обречены на новые открытия.

Этот год для физики высоких энергий особенный. Научные коллаборации CMS и ATLAS – двух главных экспериментов Большого адронного коллайдера (LHC) – отмечают свое двадцатипятилетие. Для коллектива ученых CMS праздник оказался хорошим поводом подвести итоги деятельности за четверть века и поговорить о будущем. Местом встречи стала Варна, принимающей стороной – Институт ядерной физики и ядерной энергетики Болгарской академии наук (INRE BAS) совместно с ОИЯИ.

Оглядываясь назад

Нынешнее совещание коллаборации CMS в Болгарии оказалось весьма представительным. Со стороны ЦЕРН с докладами выступали руководитель (споксмен) эксперимента Джоэль Батлер, технический директор CMS Остин Болл, лидер группы разработки будущих коллайдеров Франк Циммерман. Пять лет назад, в последние недели “дохиггсовской” эпохи, аналогичная встреча проходила в Алуште. Как всегда на подобных мероприятиях, самой внушительной была делегация коллаборации RDMS (Russia and Dubna Member States), что неудивительно, поскольку это мощное объединение ученых сложилось в самые первые годы основания эксперимента, когда до воплощения установки было еще довольно далеко, а впоследствии внесло очень заметный вклад в создание детектора. Вполне уместным стал небольшой экскурс в историю, который предварял рабочие доклады.

В начале марта 1992 года во французском городке Эвиан-ле-Бен (Франция) прошло знаковое совещание, посвященное обсуждению физической программы исследований на Большом адронном коллайдере. На него съехались свыше 650 ученых, одним из них был российский физик Игорь Голутвин, вскоре ставший лидером RDMS. Открывая нынешний work-shop, он напомнил о тех событиях: “С докладом о CMS выступил руководитель проекта Мишель Делла Негра. Ученый убедил собравшихся в целесообразности строительства детектора, в результате чего интерес к участию в проекте выразили 49 институтов из 21 страны, закрепив его подписанием Договора о намерениях. Несколько месяцев спустя уже 62 института из 25 стран стали участниками коллаборации CMS”.

В ноябре 1992 года Комитету по экспериментам на LHC были представлены заявки на создание трех крупных детекторов: ATLAS, CMS и L3P, две из них (ATLAS и CMS) были поддержаны. Строительство детектора CMS, основой которого является сверхпроводящий соленоидальный магнит с внутренним диаметром около 6 м и полем 4 тесла, началось в ноябре 1999 года с монтажа массивного магнитного яра. Пока готовился подземный зал, все работы велись в наземных помещениях. Детектор был полностью собран и протестирован в 2006 году, затем его разобрали на отдельные блоки, спустили под землю и собрали вновь.

Физические цели эксперимента были сформулированы 25 лет назад – в октябре 1992 года. Главной из них стал поиск бозона Хиггса, увенчавшийся успехом в 2012 году.

Многими докладчиками на нынешней конференции отмечалось, что, несмотря на сомнения скептиков, Большой адронный коллайдер на протяжении нескольких лет работает как часы. А его совершенно беспрецедентные как по своим размерам, так и по возможностям детекторы являются показателем того, чего можно достичь за счет использования современных технологий и слаженной работы сотен специалистов из разных стран.

Всего одна частица...

Что же ждет физику и сам коллайдер теперь, когда бозон Хиггса открыт и достаточно подробно изучен? Какова цель предстоящих апгрейдов и модификаций LHC? С этими вопросами корреспондент “Поиска” обратилась к споксмену эксперимента CMS Джоэлю Батлеру.

– Эксперимент был заточен на поиск бозона Хиггса и определение его массы, – подтвердил Дж. Батлер. – Теперь, когда он открыт и многие его свойства проверены с большой точностью, ученые занимаются проверкой предсказаний Стандартной модели (СМ), ищут возможные расхождения, которые указывали бы на новую физику. Мы знаем: несмотря на то что СМ верна, она не полна, об этом же говорят теоретические предсказания. Мы смотрим в будущее, и проект по увеличению светимости ускорителя (High Luminosity, HL – LHC), который будет завершен в 2026 году, позволит нам более детально изучить структуру микромира. Уже определено, что LHC будет остановлен в 2023 году для модернизации и снова начнет работать при новых светимостях в 5-7 раз (а возможно, и в 10 раз) выше в 2026 году. Таким образом, через 10 лет мы будем иметь гораздо большее количество данных.

В докладе Джозеля Батлера прозвучала цифра 2% – такой объем информации получен физиками сегодня, исходя из возможностей, которые предоставляет ЛНС. Но и эти 2% дают физикам богатую пищу для размышлений.

Так, например, считает главный научный сотрудник Лаборатории теоретической физики ОИЯИ член-корреспондент РАН Дмитрий Казаков:

– Только непосвященным кажется, что открыта “всего” одна частица, а специалисты знают, что проделана колоссальная работа по сбору данных о том, как устроена природа на масштабах энергий, достижимых на ЛНС. После открытия бозона Хиггса прошло пять лет, но если сравнить то, что мы знали о нем недавно и что известно сегодня, – это колоссальная разница. Собрана такая детальная информация, что просто удивительно! Да, в этой области энергий мы пока не видим других новых частиц, но я уверен, что ЛНС своего последнего слова не сказал и еще обязательно что-то будет открыто.

С коллегой согласен заведующий кафедрой экспериментальной ядерной физики и космофизики МИФИ академик Михаил Данилов:

– Большой адронный коллайдер создавался не только для поиска бозона Хиггса, но и для решения очень широкого спектра других задач. Даже если в ближайшем будущем мы не найдем какого-то нового эффекта, новой частицы, это не означает отсутствие результата. То, что мы не видим нарушения закона сохранения энергии, говорит нам намного больше, чем, например, открытие нового адрона на БАК, которое привлекло большое внимание этим летом. Если мы знаем, что что-то запрещено, это очень важная информация о нашем мире. То есть, безо всяких сомнений, ЛНС позволит получить важнейшие результаты, которые объяснят нам, как устроен мир. Это и параметры бозона Хиггса, которые сразу говорят о множестве теорий, альтернативных СМ, и параметры топ-кварка, который тоже чувствителен к новой физике, это и поиски темной материи, которые являются одним из главных направлений в физике – и здесь коллайдер дает очень серьезные преимущества.

Не потерять молодежь

В модернизации коллайдера, которая направлена на улучшение его параметров (в ближайшее время – светимости), активное участие принимают российские коллективы ученых – как исторически входящие в RDMS, так и недавно присоединившиеся к коллаборации. В частности, Михаил Данилов координирует деятельность группы МИФИ, которая активно включилась в реализацию проекта HL – ЛНС.

– Долгое время мы в составе коллаборации CALICE разрабатывали новый подход к калориметрии в рамках подготовки электрон-позитронного линейного коллайдера, – отметил М.Данилов, – создали первый в мире прибор с использованием 8 тысяч кремниевых фотоумножителей (SiPM), которые были изобретены в России с участием ученых Московского инженерно-физического института (даже название этим инновационным фотодетекторам придумал один из основных разработчиков – профессор МИФИ Борис Долгошеин). Наша концепция была взята за основу проекта модернизации калориметра CMS для работы при большей светимости. В действительности, предстоят две модернизации. Первая уже идет и связана с заменой бывших детекторов на кремниевые фотоумножители – в ней группа МИФИ принимает очень активное участие. Параллельно идет подготовка модернизации для периода высокой светимости, и это будет совершенно новый, более радиационно стойкий детектор с заменой end-cap-калориметра. Соответствующие радиационные испытания мы уже провели совместно с ОИЯИ и показали область применимости нашей технологии. На основе этих измерений была выбрана конфигурация детектора, который сможет работать при очень высоких радиационных нагрузках. В передней части детектора и электромагнитный и адронный калориметры находятся при пониженной температуре, что облегчает ситуацию с радиационной стойкостью, а с другой стороны, позволяет иметь гибкую структуру детектора, осуществить плавный переход от кремниевых детекторов к сцинтилляционным.

За время, которое прошло со вступления в RDMS – CMS в 2014 году, мы сумели создать в МИФИ очень сильный молодежный коллектив. В нем сейчас пять аспирантов, около 10 студентов, которые в этом году защитили дипломы по тематике CMS. Для университета наше участие в эксперименте играет большую роль не только в образовательном, но и в научно-исследовательском процессе, поскольку работы, которые были представлены на защиту, со временем будут превращаться в серьезные исследования и статьи.

Стремятся проявить себя в деле и участники группы МФТИ, которая недавно тоже вошла в RDMS. Ее руководитель, заведующий Лабораторией физики высоких энергий член-корреспондент РАН Тагир Аушев впервые приехал на совещание CMS и объяснил основную цель вступления в нее группы Физтеха так: “Чтобы не потерять молодежь для науки, нужно дать студентам возможность выполнять исследования в самых перспективных областях, сформировать потребность участвовать в решении интереснейших физических задач и при этом не стремиться уехать на работу в зарубежные лаборатории. Работа в коллаборации RDMS-CMS позволяет это делать”. Группа МФТИ, в составе

которой как состоявшиеся ученые, так и студенты, тоже заинтересована участвовать в подготовке к апгрейду. По словам Т.Аушева, который имеет непосредственное отношение к работам по созданию сцинтилляционного детектора на эксперименте BELL в Японии, у физтеховцев есть большое желание взаимодействовать с другими институтами, которые обладают соответствующими компетенциями, чтобы, объединив усилия, обеспечить внушительный общероссийский вклад.

Дальше – лучше

О различных этапах и видах апгрейда Большого адронного коллайдера и установки CMS заходила речь чуть ли не в каждом выступлении. Так уж устроены физики, что им постоянно хочется поднять светимость, точность измерений, качество столкновений частиц, не говоря уж об энергии ускорителя, пределы которой все же продиктованы конструкцией нынешней установки.

Проект High Luminosity LHC, работа над которым уже идет и завершится к 2026 году, позволит практически на порядок увеличить светимость. Но для того, чтобы коллайдер и в новых условиях работал “как часы”, о нем самом нужно позаботиться. Какой вклад на новом витке развития LHC ожидают в ЦЕРН от участников коллаборации RDMS?

Отвечая на этот вопрос, споксмен эксперимента выделил работы по созданию адронного калориметра высокой гранулярности (HGAL) и по модернизации мюонной системы:

– HGAL предполагается разместить в передней части установки вдоль оси пучка. В отличие от того, как это происходило раньше, когда мы смотрели на сумму выделяемых энергий, мы будем анализировать данные в очень тонких слоях, будем видеть развитие ливней частиц одновременно в пространстве и во времени. Это новый подход к изучению физики высоких энергий, нам потребуется использовать современные и сложные технологии, а также продемонстрировать высокое инженерное мастерство.

Что касается наличия мастерства и высокой научной квалификации, то в этом сомневаться не приходится – российские физики и специалисты демонстрируют их постоянно и на всех порученных им участках. Другой вопрос – госфинансирование нашего участия в проектах ЦЕРН, с которым периодически возникают перебои. Вот и сейчас все ждут поступления давно обещанных денег, и такая ситуация на авторитет российской команды явно не работает.

Один из докладов на совещании сделал молодой сотрудник Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ кандидат физико-математических наук Илья Горбунов. Он работает в двух направлениях – физический анализ, прецизионные измерения в рамках Стандартной модели и изучение физических характеристик нового калориметра высокой гранулярности (термин означает малый, около 1 см, размер детектирующих элементов), который будет расположен в передней части установки CMS.

– Там высокие радиационные нагрузки, и очень большое количество частиц попадает в эту область установки, поэтому из-за радиационного старения приходит в негодность часть электроники и существующих детекторов, а из-за большого количества частиц, которые туда попадают, ухудшается разрешающая способность и эффективность отбора событий, – поясняет Илья.

В работах по увеличению радиационной стойкости узлов адронных калориметров, созданию калориметра высокой гранулярности, обновлению электроники и детектирующих элементов ОИЯИ участвует не случайно. Еще на алуштинской конференции в 2012 году профессор Александр Малахов рассказывал корреспонденту “Поиска” об усовершенствовании конструкции сцинтилляторов, которая позволит значительно уменьшить влияние радиационных повреждений на характеристики установки. В новой схеме электромагнитный и часть адронного калориметра будут объединены и построены на одних и тех же кремниевых детекторах очень малых размеров.

– Толщина новых детектирующих кремниевых элементов на порядок меньше прежней, мы сможем сделать много слоев и очень точно оценить треки, наблюдать за развитием ливней частиц с маленькими интервалами, – отмечает И.Горбунов. Заработать обновленный калориметр должен в 2026 году.

Ведутся участниками коллаборации RDMS и восстановительные работы мюонных систем. Заместитель руководителя Отделения физики высоких энергий НИЦ “Курчатовский институт” – ПИЯФ Виктор Ким рассказал, что его институт, расположенный в Гатчине, входит в так называемую мюонную группу. Гатчинцы совместно с ОИЯИ и рядом институтов США принимали участие в создании торцевой мюонной системы, а сейчас занимаются восстановлением мюонных камер, свойства которых ухудшаются под воздействием радиации. Выяснилось, что восстановление можно эффективно проводить специальными газовыми смесями, и этот путь, безусловно, является хорошей экономией средств для CMS.

Заняты в ПИЯФ и теоретическими предсказаниями.

– Мы ищем проявления так называемых струйных событий. Совместно с НИЦ “КИ” – ИТЭФ успешно выполнили несколько исследований на меньших энергиях и надеемся увидеть новую характерную динамику на асимптотических значениях в будущем, – пояснил Виктор Ким.

К новым энергиям

Планы по увеличению энергии существующего коллайдера уже перестали казаться чем-то фантастическим. Физики всерьез обсуждают такую возможность, которая может быть реализована не раньше... 2035 года. Столь отдаленный горизонт планирования никого из специалистов не смущает. “Концепция LHC тоже обсуждалась за 20 лет до фактической реализации”, – говорили участники совещания.

– Мы думаем о том, что делать дальше, и одна из возможностей – это коллайдер высокой энергии, – рассказал корреспонденту “Поиска” Джоэль Батлер.

Но прежде, чем физики займутся его созданием, им потребуется убедить мир в том, что строительство нового ускорителя чрезвычайно важно. Понятно, что сегодня стоимость проекта оценить сложно, но, по мнению Батлера, она может приблизиться к 20 миллиардам швейцарских франков, а само сооружение займет не менее 15 лет. Главный аргумент физиков – за счет высокой энергии возникнет больше вариантов рождения частиц, которые при низких энергиях не рождаются.

И хотя ускоритель существует пока только на бумаге, название у него уже есть – Future Circle Collider, FCC. Его энергия будет достигать 100 ТэВ (против 14 ТэВ Большого адронного коллайдера), расчетная длина кольца, которое придется соорудить заново, – 100 км. Доклад о возможной новой машине сделал на совещании Франк Циммерман, по словам которого беспрецедентная энергия может быть получена за счет существенного увеличения длины кольца и использования более сильных магнитов, созданных по новейшим технологиям. Несколько таких магнитов будут использованы уже при апгрейде LHC до HL-LHC, и этот опыт станет своего рода первой демонстрацией новых возможностей.

Вместе с этим проектом в ЦЕРН в настоящее время разрабатываются еще три: электрон-позитронный коллайдер, LHC увеличенной энергии – High energy LHC и линейный коллайдер (лептон-протонный). Все они осенью 2019 года будут представлены на Европейской конференции по физике элементарных частиц, а затем – на рассмотрение специальной комиссии, которая утвердит новую Европейскую стратегию в области физики высоких энергий. Если решение будет принято в пользу FCC, то примерно 7-8 лет потребуется для сооружения нового туннеля в 100 км и еще около 8 лет – на производство 5000 новых магнитов. Таким образом, по словам Франка Циммермана, первые данные на FCC можно получить только в 2040 году.

Решение комиссии, безусловно, будет зависеть от многих причин, поскольку бюджет в 20 миллиардов франков не посилен для ЦЕРН и может быть образован только “вкладчину” многими странами. По мнению Джоэля Батлера, потребуется оценить и физические результаты, которые будут получены в ближайшие несколько лет на LHC. Возможно, будет принято решение о строительстве электрон-позитронного линейного ускорителя или другой машины, которые позволят сделать более точные измерения, чем те, что сегодня достигаются на LHC. Франк Циммерман предлагает не забывать и о возможности увеличить энергию самого LHC (High energy LHC) примерно до 27 ТэВ. По расчетам разработчиков, это тоже вполне реализуемый и при этом не столь разорительный проект.

Закрывая совещание, Джоэль Батлер отметил:

– Мы живем в интереснейшее время, потому что бозон Хиггса связывает очень многие вещи. К примеру, физику элементарных частиц с физикой высоких энергий и гравитацией. Он может дать нам указания на темную материю, и в этом случае нам потребуется решить, на какой машине ее можно будет обнаружить. На этой конференции мы обсудили настоящее, а также ближайшее и отдаленное будущее LHC, я считаю ее очень успешной. Российские коллеги, которые с самого начала проекта CMS играли важнейшую роль в его развитии, внесли большой вклад в открытие бозона Хиггса, поиски новой физики. Некоторые российские теоретики помогли нам продвинуться в понимании того, какие возможности есть у LHC. Я думаю, что многие вопросы не были бы решены эффективно без участия коллаборации RDMS, которая сыграла и продолжает играть очень важную роль в исследованиях частиц.

Руководитель эксперимента CMS также отметил, что является оптимистом и верит, что на том энергетическом масштабе, на котором работает LHC, удастся сделать новые открытия. “Мы проводим множество исследований, и, когда ты находишься в середине пути, сложно точно сказать, когда будет достигнут результат. У нас в руках замечательный ускоритель и замечательный детектор CMS. Мы не знаем, что природа поместила в достижимый на этой машине масштаб энергий, но, если там что-то есть, мы обязательно это “что-то” откроем”, – подытожил Джоэль Батлер.

Светлана БЕЛЯЕВА
Фото автора и Николая ГОРБУНОВА
Варна – Москва