



Элементарная экзотика

На конференции в Варне физики готовились к будущим открытиям

Машина открытий начала свою работу - на Большом адронном коллайдере получены и проанализированы первые экспериментальные данные. Их обсуждению была посвящена 14-я ежегодная Международная конференция коллаборации RDMS CMS в Варне, в работе которой помимо российских ученых участвовали их коллеги из США, Италии, Германии, ЦЕРН, не входящие в ее состав. Напомним: коллаборация возникла в 1994 году как союз ученых России и стран - участниц Объединенного института ядерных исследований (Дубна), для создания одного из двух основных детекторов церновского коллайдера - компактного мюонного солениода (CMS). Руководит работой RDMS CMS профессор Игорь Голутвин, Совет коллаборации возглавляет академик РАН Виктор Матвеев, ученый секретарь - Анатолий Зарубин.

Открывал конференцию председатель организационного комитета профессор Иван Ванков. От имени оргкомитета Анатолий Зарубин зачитал приветствие вице-президента РАН, директора ФИАН, академика Геннадия Месяца. А профессор Игорь Голутвин отметил, что это мероприятие - особенное. На нем планируется не только обсудить первые результаты, полученные на LHC, но и познакомить участников с новым научным открытием дальних корреляций коллаборации RDMS CMS.

Вычисляй и властвуй

Уже полгода как церновский ускоритель вышел на энергию 7 триллионов электрон-вольт. Именно столько может выделиться при лобовом столкновении двух протонов. Это ровно половина его возможностей



Р.Тенчини

и в то же время абсолютный рекорд, превосходящий в несколько раз все предыдущие достижения. Удалось ли уже ученым разглядеть контуры новой физики?

- Фундаментом для открытия новой физики является хорошее понимание "старой", - комментирует профессор Пизанского университета Роберто Тенчини. - Поэтому все знания, полученные на предыдущих ускорителях, должны быть правильно экстраполированы в новую область.

- Статистическое распределение большого числа событий по некоторым параметрам заметно отличается от предсказанного, - поясняет Анатолий Зарубин. - Правда, это не проявление новой физики, а всего лишь следствие неточности наших экстраполяций в область более высоких энергий. И теперь мы будем знать, как точнее настроить Стандартную модель, в которой имеется достаточно много свободных параметров.

Кроме того, исследователи ищут необычные события, которые также могут свидетельствовать о новой физике. К сожа-

лению, они происходят крайне редко. Чтобы увеличить шансы на открытие, в ближайшие годы планируется повысить в 100 и даже 1000 раз светимость коллайдера, которая пропорциональна плотности потока мчащихся по кольцу протонов.

Но и сейчас она такова, что лобовое столкновение двух протонов происходит 10 миллионов раз в секунду! Сразу же становится ясной одна из основных задач, которую приходится решать в экспериментальной физике элементарных частиц высоких энергий.

С одной стороны, для надежных выводов нужен огромный массив информации, с другой - как его "переварить"? Да и детекторы не могут включаться и затем восстанавливаться миллионы раз в секунду, ведь каждый из них (и CMS, и ATLAS) размером с многоэтажный дом. Поэтому разработали целую систему триггеров - специальных устройств, служащих спусковыми механизмами для включения детекторов. Сначала срабатывают триггеры первого уровня, затем следующего и т.д. Если включилась вся система, то это сигнал для детектора - пора работать. Спусковые механизмы продуманы так, чтобы детектор регистрировал интересное событие и успевал подготовиться к записи следующего.

В результате физики получают сведения только о 100 столкновениях в секунду. Остальное отсеивается. Тем не менее оставшейся информации так много, что возникают проблемы не только с ее обработкой, но даже с передачей и хранением. Решая эти проблемы, ЦЕРН сделал новый шаг в развитии Всемирной паутины, разработав GRID-технологии, поясняет один из основателей перспективного направления в

России, заместитель директора Лаборатории информационных технологий ОИЯИ, профессор Владимир Кореньков. Если Интернет дает право получать информацию, хранящуюся на сайтах всего мира, то GRID использует мощь удаленных компьютеров. Допустим, ученому нужно взять архив с записью определенных столкновений и проанализировать их, чтобы проверить новую гипотезу. Вместо того чтобы перекачивать большой массив данных из одного места в другое, GRID-технологии позволяют обработать их там, где они находятся. Ученый может войти в Интернет с карманного ноутбука, ввести определенный код, и мощные компьютеры, разбросанные по земному шару, начнут "переваривать" информацию, не "сдвигая" ее с места. А пользователь получит конечный результат.



И.Голутвин и Г.Ландсберг

Другая проблема, связанная с обработкой информации, вызвана так называемыми аномальными сигналами. Но не теми, что свидетельствуют о новой физике и которых так ждут ученые, а вызванными самыми банальными причинами - ошибками в регистрирующих приборах. Скажем, частица попадает точно в оптический детектор и вызывает кратков-

ременный сбой в его работе. И важно уметь отличать "хорошие" аномалии от "плохих". По словам заведующей лабораторией Экспериментальной ядерной физики высоких энергий ИТЭФ (Москва) доктора физико-математических наук Владимира Гаврилова, экспериментаторы научились это делать благодаря анализу информации, поступающей из различных независимых друг от друга частей детектора.

Кстати, надежность адронного калориметра (одной из центральных частей CMS), регистрирующего тяжелые частицы, превышает 99,9%, в то время как церновский "стандарт качества" составляет 90%. Ученые создали программное обеспечение, учитывающее нелинейные эффекты, возникающие при продвижении в область еще не опробованных высоких энергий. Они калибруют детектор, выделяя для этого "одиноко летящие" частицы с точно измеренной энергией.

От А до Б

Когда два протона с высокой энергией сталкиваются, они могут породить весь "зоопарк" элементарных частиц. Если бы подобное происходило в обычном мире, то, разогнав, к примеру, двух кроликов до общей энергии, эквивалентной массе 100 тонн, и столкнув их, можно было бы получить набор из любых животных, кроме, возмож-



Д.Инкандела

дении тяжелых частиц. Кроме того, все объекты, взаимодействуя с веществом приборов, также порождают большое число новых частиц. И все это множество, двигаясь в разных детекторах, вызывает в них различные электрические сигналы. Их необходимо расшифровать, чтобы восстановить все детали столкновения и выяснить, какие именно короткоживущие массивные частицы в нем возникали. Это задача технически очень сложная, но в ней нет ничего таинственного. Откуда же появляется экзотика - дополнительные измерения, черные дыры и прочее?

Они возникают из проблемы иерархии масштабов - огромной слабости гравитации по сравнению с другими силами. Разница в величине взаимодействий входит в расчетные формулы всех частиц и приводит к гигантским поправкам для их масс. С помощью особых математических приемов (перенормировки) эти поправки удалось компенсировать для всех частиц, кроме бозона Хиггса. Можно сказать, что вся экзотика выросла из попыток решить эту проблему.

Проще говоря, когда физики работают с небольшими энергиями, то все в порядке. Но с ростом скоростей появляются расходимости. "Поэтому и возникают неопределенности в расчетах при энергии выше 1 триллиона электрон-вольт", - признается профессор Брауновского университета Грэг Ландсберг. До создания Большого адронного коллайдера эти расчеты никого сильно не волновали, так как их все равно нельзя было проверить. Но сейчас проблема расходимостей встала особенно остро. Есть несколько вариантов "лечения".

Скажем, существует симметрия между положительным и отрицательным зарядами, благодаря чему у электрона есть "двойник" - позитрон. Если бы у каждой частицы с целым спином был симметричный партнер с полуцелым и наоборот, то все бесконечности сократились бы: партнер вносил





бы вклад в вычисления с противоположным знаком. Так в физике получила зеленый свет идея суперсимметрии. Поиск суперсимметричных партнеров для известных частиц - одна из основных задач черновского ускорителя. Ведь эти партнеры - возможные кандидаты на роль темной материи, которая, по подсчетам астрономов, превосходит массу всех звезд и галактик в десятки раз.

Другое спасение от расхождений - дополнительные измерения. Почему нет четвертого, пятого или даже шестого измерения? Есть версия, что они существуют, но только в микромире. В этом случае можно считать, что сила гравитации "уходит" в эти дополнительные измерения, поэтому она слаба в обычном мире.

Согласно теории Эйнштейна, в больших и компактных звездах гравитация настолько сильна, что "побеждает" все остальные силы. В результате звезда превращается в черную дыру. Чтобы подобное случилось в микромире, туда нужно "закачать" очень большую энергию, примерно в миллиард миллионов раз превосходящую возможности черновского коллайдера. Ясно, что подобные ускорители человечество "не потянет" даже в отдаленном будущем. Но если имеются дополнительные измерения, то все меняется. В зависимости от их размеров гравитация может победить остальные силы и при меньших энергиях.

В таком случае при столкновении протонов должна появиться и черная дыра. Правда, будучи маленькой, она быстро "испарится" - распадется сразу на все известные частицы и античастицы. И такой характерный "почерк" события экспериментаторы ни с чем не



А. Левчук

спутают. "Не то чтобы кто-то всерьез верит в рождение черных дыр на ЛНС, - поясняет старший научный сотрудник ОИЯИ Мария Савина, - но, сказав "а" (дополнительные измерения), мы вынуждены говорить "б" (возможность появления черных дыр)".

Герметичность и модульность

Но дополнительные измерения можно обнаружить и другим, не менее фантастическим, способом. Пусть при столкно-

вении протонов рождается пара из двух тяжелых частиц. Есть вероятность, что одна из них полетит в четвертое, пятое или какое-нибудь другое "высокое" измерение. Тогда для нас она словно исчезнет. Ведь ни один прибор ее не зарегистрирует. Другая частица, распадаясь в "нашем" мире на кучу частиц, сильно удивит экспериментаторов. Они увидят только одну мощную струю, вылетающую из места столкновения. Налицо явное нарушение одного из самых фундаментальных законов физики - сохранения импульса. Проще говоря, ученые вправе заподозрить наличие лишнего



И.Дремин, А.Воробьев, А.Литов

измерения после обнаружения какого-либо дефицита энергии или импульса. "И здесь очень важно, - подчеркнул ведущий научный сотрудник ОИЯИ Владимир Пальчик, - что детектор CMS обладает высокой герметичностью: малейшая недостача сохраняющихся величин будет замечена". Другими словами, различные приборы, из которых состоит детектор, с высокой вероятностью регистрируют все известные частицы, пролетающие через них. Поэтому появление чего-то неизвестного (например, темной материи) или нового измерения на малых расстояниях приведет к кажущемуся нарушению законов сохранения.

"Помимо герметичности детектор обладает и другим достоинством, - говорит заместитель руководителя коллаборации CMS профессор Джо Инкандела, - он построен по модульному принципу. В случае ремонта его достаточно легко разобрать и снова собрать. Но главное - при появлении новой физики CMS может быть модернизирован для решения непредвиденных задач. Согласно современным космологическим исследованиям, на ранней стадии существования Вселенной появилось очень много темной материи. Об этом свидетельствуют и быстрое по астрономическим меркам рождение первых галактик, и слабая анизотропия реликтового излучения. А масштаб тех энергий, которые будут достигнуты на ЛНС в ближайшее время, весьма многообещающий для открытия все еще неуловимых частиц темной материи. И это направление, по моему убеждению, наиболее интересно".

Важные "мелочи"

Другая неоткрытая частица, которую также все ждут с не-

терпением, - это конечно же бозон Хиггса. В своем докладе заведующий лабораторией ННЦ "Харьковский физико-технический институт" Леонид Левчук проанализировал результаты проведенных экспериментов, в том числе прецизионных измерений масс промежуточных бозонов и топ-кварка, и пришел к выводу: вероятность обнаружить легкий хиггс достаточно мала. Скорее всего, он будет открыт не прежде, чем коллайдер выйдет на полную мощность.

Что касается топ-кварка, зарегистрированного 15 лет назад на специально построенном для этого ускорителе Теватроне в Чикаго, то ведь и он до сих пор плохо изучен. Энергии американского ускорителя хватило как раз на то, чтобы его обнаружить, но оказалось недостаточно для "производства" в требуемом для исследований количестве. Теперь этот самый тяжелый кварк снова "переоткрыт" на ЛНС. Его обнаружение сразу на двух основных детекторах ATLAS и CMS можно сравнить с лакмусовой бумажкой, показывающей хорошую подготовку черновского коллайдера к работе. Это отправная точка на пути к новой физике.

И здесь открываются широкие перспективы: ведь ЛНС станет в ближайшее время самой настоящей фабрикой по производству топ-кварков, промежуточных бозонов и других недостаточно хорошо изученных частиц. По мнению многих физиков, именно в этом "неэкзотическом" направлении следует ожидать наиболее интересных открытий. "Сначала мы должны зафиксировать новую динамику и более точно настроить параметры Стандартной модели, - резюмирует будущие исследования ведущий научный сотрудник Петербургского института ядерной физики им.Б.П.Константинова РАН доктор физико-математических наук Виктор Ким, - а затем будем смотреть, нет ли сверх этого новой физики".

Как уже отмечалось, в первую очередь ученых интересуют лобовые столкновения протонов, при которых могут родиться всякие экзотические "штучки". Тем не менее для более полного понимания физики элементарных частиц важны и другие процессы, когда летящие навстречу протоны лишь "слегка возбуждают друг друга". Лобовые столкновения легче расследовать в рамках Стандартной модели, а для "скользящих встреч" пока нет единого подхода. Любой протон окружен облаком

виртуальных частиц, и поэтому при движении они задевают друг друга своими "шубами". "Сейчас, пока коллайдер работает вполсилы, наиболее благоприятная ситуация, чтобы извлечь максимум информации из "скользящих столкновений", - говорит старший научный сотрудник Института физики высоких энергий (Протвино) Роман Рютин.

В Стандартной модели существуют различные механизмы образования лептонных пар (электроны, позитроны и их более тяжелые "собратья", такие как мюон и тау-лептон). Но вероятность их возникновения рассчитывается при высоких энергиях с большими ошибками, для устранения которых нужно правильно учесть поправки, вызванные излучением и неопределенностью внутренней структуры протона. Этими расчетами занимается группа под руководством директора Национального центра физики частиц и высоких энергий Белорусского государственного университета профессора Николая Шумейко.

Одна из важнейших проблем Стандартной модели - так называемый конфайнмент (буквальный перевод - тюремное заключение). Иначе говоря, не совсем ясно, почему кварки не существуют в свободном состоянии, а только в связанном внутри протонов, нейтронов и других адронов. Теория, объясняющая такое поведение, еще не до конца проверена. Чтобы внести ясность в проблему, в ноябре этого года на ЛНС планируются эксперименты по столкновению тяжелых ионов. "Существуют некоторые предсказания Стандартной модели: бозон Хиггса, кварк-глюонная плазма и т.п., которые мы должны обнаружить при этом, - говорит ведущий научный

исследований и ядерной энергетики Болгарской академии наук, профессор Иван Ванков отметил необычайно высокий научный уровень конференции. Словно в подтверждение



В.Ким

его слов, заведующий сектором физики высоких энергий Физического института РАН им. П.Н.Лебедева доктор физико-математических наук, профессор Игорь Дремин сообщил о новом явлении, только что зарегистрированном на детекторе CMS. Сегодня, когда уже прошли официальные обсуждения и опубликована научная статья, можно рассказать читателям, что были обнаружены корреляции в движении частиц, рожденных при столкновении протонов. Нечто вроде коллективного поведения. Ранее подобное наблюдалось только при соударении тяжелых ядер, и поэтому эффект "коллективизации" связывали с большим числом сталкивающихся частиц. От одиночных протонов такого никто не ожидал. Вот как прокомментировал новый результат Игорь Михайлович: "Наблюдения показали, что в тех областях исследования, где, казалось бы, уже все ясно, возможны сюрпризы".

Подводя итоги конференции, директор отделения физики



В.Каржавин, И.Ванков и А.Димитров

сотрудник НИИЯФ МГУ Ольга Кодолова. - Если этого не произойдет, то, значит, мы не понимаем каких-то важных вещей.

Конференция коллаборации RDMS традиционно проводится осенью в разных странах. Ее цель - обмен опытом и достижениями, что является неотъемлемой составляющей работы любого научного коллектива. Болгарская конференция, как и ожидалось, получилась особенной. Один из ее организаторов, сотрудник Института ядерных

высоких энергий ПИЯФ член-корреспондент РАН Алексей Воробьев напомнил, что 16 лет назад, когда создавалась RDMS, многие сомневались в актуальности такого объединения. Однако теперь всем ясно, что "вольный" союз, включающий как крупные, так и небольшие научные группы, способен к решению широкого спектра инженерно-технических и научно-исследовательских задач.

Василий ЯНЧИЛИН
Фото Николая СТЕПАНЕНКОВА
Варна - Москва