

## А как образуются горячие ядра?

Для этой цели широко используются ядерные реакции на тяжелых ионах. Однако в этом случае нагрев сопровождается значительным сжатием, вращением и деформацией системы. Картина упрощается, если использовать легкие пучки (протон, гелий) с релятивистской энергией. Проходя через ядро-мишень, протон испытывает соударения с нуклонами, вызывая внутриядерный каскад. Быстрые частицы вылетают наружу, медленные застревают в ядре-остатке, нагревая его. Это уникальный способ получения горячих ядер, энергия возбуждения которых практически целиком тепловая. Разогретый и расширившийся остаток ядра разваливается, испуская нуклоны и фрагменты. Это обеспечивает наиболее чистые условия для изучения ядерной термодинамики при высоких температурах. Именно такой способ нагрева мы избрали, чтобы изучать тепловую мультифрагментацию.

## Каковы конструкционные особенности вашей установки?

Вакуумная камера установки имеет сферическую геометрию. В центре находится мишень из золота толщиной 0,5 мкм. Золото – популярный материал для мишени, благодаря его химической чистоте и возможности изготовления из него очень тонкой фольги. А столь тонкая мишень необходима, чтобы не исказить энергетический спектр фрагментов, имеющих небольшой пробег в веществе. Вокруг мишени расположены детекторы двух типов. Во-первых, это 25 телескопов-спектрометров, в которых с помощью ионизационной камеры определяется удельная ионизация частицы, вылетающей из мишени. За камерой располагается полупровод-

## Рабочие совещания

Совещание открыл руководитель эксперимента ATLAS в ОИЯИ Н. А. Русакович. В нескольких словах он рассказал о запуске LHC и установки ATLAS, произошедшей на LHC аварии, ее последствиях и планах ее устранения. По поводу участия в физической программе исследований на установке ATLAS Н. А. Русакович отметил, что, несмотря на предпринимаемые усилия в этом направлении, ОИЯИ все еще пока слабо заметен на фоне всей коллаборации. Тем не менее, проведенные в ЦЕРН переговоры с руководителями коллаборации в лице П. Иенни и новой избранной главы коллаборации Фабиолы Джанноти вселяют определенные надежды на поддержку со стороны всей коллаборации участия ОИЯИ в работах по физической программе ATLAS.

Хорошее впечатление на этом рабочем совещании произвели молодые сотрудники отдела встречных пучков ЛЯП – Алексей Шербаков, Андрей Сапронов, Михаил Демичев и Александр Востриков и другие.

Особенно хочется отметить выступление А. А. Шербакова, в котором он рассказал о новых результатах исследования возможности обнаружения

## «Жидкость – туман»,

На пучке нуклотрона ОИЯИ размещена установка ФАЗА. Она была создана для изучения в 4л геометрии тепловой мультифрагментации – нового мнотельного типа распада горячих ядер, взрывоподобного процесса, сопровождающегося множественной эмиссией фрагментов промежуточной массы. Это явление было доказано коллаборацией ФАЗА в 1994 году. Как заметил в одной из статей, посвященных описанию эксперимента, его научный руководитель доктор физико-математических наук В. А. КАРНАУХОВ, ситуация похожа на задачу криминалиста, который реконструирует обстоятельства катастрофы по обломкам. «Процесс трактуется нами как фазовый переход первого рода «жидкость – туман», происходящий при температуре 5–7 МэВ. Горячее ядро, расширяясь за счет теплового давления, попадает в область фазовой неустойчивости (спинодальная область). В результате флуктуаций плотности гомогенная ядерная система распадается на ансамбль, состоящий из капелек и ядерного газа».

никовый детектор, измеряющий полную энергию частицы (E). Зная эти параметры, можно однозначно найти заряд частицы (Z), то есть тип регистрируемого фрагмента, его порядковый номер.

Во-вторых, установка ФАЗА оснащена 58 сцинтилляционными счетчиками с пленками CsI (Tl) толщиной 50 мкм, составляющими детектор множественности ФЛМ, который одновременно определяет и число, и пространственное распределение фрагментов. Информация поступает по 205 каналам электроники. Установка позволяет измерять распределения событий по множественности фрагментов, их энергетические спектры, угловые и зарядные распределения, корреляции по относительному углу и скорости. В 1993–1997 годах с помощью этой установки была проведена серия экспериментов, на основании которой и сделан вывод, что тепловая мультифрагментация – суть фазовый переход «жидкость – туман».

С кем вы сотрудничаете?

Исследования на установке ФАЗА проводятся международной коллаборацией, в которую, кроме сотрудников ОИЯИ, входят ученые из РНЦ «Курчатовский институт», Института ядерной физики Технического университета в Дармштадте, Института ядерной физики имени Г. Неводничанского в Кракове и Университета американского штата Айова.

А теперь представьте, пожалуйста, ваших коллег.

Это мои сподвижники в ОИЯИ С. П. Авдеев, В. В. Киракосян, П. А. Рукояткин; Х. Ойшлер (Институт ядерной физики ТУ, Дармштадт, ФРГ); А. Будзановски, В. Карч, И. Сквирчинска, Б. Чех (ИЯФ имени Г. Неводничанского, Краков, Польша); Е. А. Кузьмин, Л. В. Чулков («Курчатовский институт», Москва); Э. Норбек (Университет Айовы, США); А. С. Ботвина (ИЯИ, Москва).

Исследованием ведутся вами и вашими коллегами почти 15 лет. Какие результаты вы считаете наиболее значительными?

## «Физика ATLAS в ОИЯИ»

24 декабря 2008 года в Лаборатории ядерных проблем имени В. П. Джелеева прошло юбилейное, уже 10-е рабочее совещание дубненской части коллаборации ATLAS. Тема совещания – разработка физической программы эксперимента ATLAS и участие в ней ОИЯИ.

бозона Хиггса по каналу его распада на четыре мюона. Данная тематика традиционна для отдела встречных пучков ЛЯП, руководимого Г. А. Шелковым, где этим процессом занимаются уже несколько лет. Отличительной особенностью выступления Шербакова было то, что молодые сотрудники этого отдела провели (наконец) данный анализ в рамках принятого в коллаборации математического обеспечения, что теперь открывает им возможность на равных с другими исследовательскими группами обсуждать полученные результаты в рамках коллаборации.

В контексте необходимого анализа фоновых процессов для отмеченного выше варианта поиска бозона Хиггса М. А. Демичев рассказал о проведенном в отделе встречных пучков исследовании возможности измерения сечения реакции совместного образования Z-бозона и пары b-кварков при столкновениях протонов на LHC. Прямое

экспериментальное измерение сечений образования Zbb-состояний на ранней стадии работы коллайдера позволит безмодельно из данных определить величину этого фонового вклада.

Традиционные выступления об успехах группы SANC (занимающейся поддержкой аналитических и численных вычислений для коллайдерной физики) сделали В. А. Колесников и Р. Р. Садыков. Эта группа также вышла на уровень коллаборации и занимается внедрением своих разработок (в частности, по одиночному рождению W- и Z-бозонов) в общепринятые пакеты программ PYTHIA и HERWIG.

Интересное новое предложение о совместном ОИЯИ и DESY участии в определении партонных функций распределения в протоне на основе анализа процесса Дрелла – Яна с распадом Z-бозона на электрон-позитронную пару сделал бывший сотрудник ЛЯП, а ныне сотрудник DESY Алек-

## или Об эволюции проекта ФАЗА

Первые же эксперименты показали, что при соударении протонов, обладающих энергией более 2 ГэВ, с золотой мишенью наблюдается множественная эмиссия фрагментов. Это вызвало много вопросов – в частности, действительно ли горячее ядро под действием теплового давления расширяется, попадает в область фазовой неустойчивости и только после этого распадается на фрагменты? Ключевой вопрос – какова временная шкала множественной эмиссии фрагментов? Испускаются ли фрагменты независимо и последовательно (тогда это просто еще одно проявление уже известного испарения частиц из ядра) или это совершенно новый взрывоподобный процесс – многотельный распад, когда фрагменты возникают практически одновременно? Как сильно должно быть нагрето ядро, чтоб произошел этот процесс? Возможны ли другие фазовые переходы в ядре? Расчеты, эксперименты и анализ данных позволили нам сделать ряд фундаментальных выводов.

В наших экспериментах установлена величина критической температуры для фазового перехода жидкость – газ:  $T_c = 17 \pm 2$  МэВ. При критической температуре исчезает поверхностное натяжение, как в ядре, так и в стакане с водой. Только для воды это случается при температуре в миллиард раз более низкой. Читатель может заявить, что ядро нельзя нагреть без разрушения до столь высокой температуры, как 17 МэВ. Это так. Но нуклонные системы существуют и при более высоких температурах, например, «файер-боллы» в ядро-

ядерных соударениях при высоких энергиях. При описании поведения более холодных систем очень важно знать величину  $T_c$ , так как этот параметр определяет, как быстро поверхностное натяжение уменьшается при нагреве ядра. То, что температура системы при развале на фрагменты меньше критической  $T_c$ , – веский довод в пользу того, что процесс происходит в спиноподобной области.

Время жизни ядра, попавшего в спиноподобную область, очень короткое. Оно равно примерно  $2 \cdot 10^{-22}$  сек. Это впервые было установлено экспериментально нами путем анализа угловых корреляций фрагментов. Отметим, что время пребывания ядерной системы в состоянии кварк-глюонной плазмы (если это случается) оценивается как в десять раз более короткое.

**Расскажите, пожалуйста, о ваших планах.**

Новые экспериментальные исследования свойств спиноподобного состояния ядерной материи представляются весьма актуальными. Они предусмотрены новым проектом ФАЗА-3. Вот, вкратце, наиболее интересные пункты физической программы этого проекта.

Прежде всего, будут проведены новые измерения времени эмиссии  $\tau_{em}$ , которые следует делать в различных условиях и с лучшей точностью, чем до сих пор. В результате будет получена совершенно новая информация о конфигурации системы в момент развала, то есть восстановлена ее топография.

Важно прояснить некоторые существенные детали начального этапа взаимодействия. Нас интересует процесс эмис-

сии предравновесных фрагментов с  $Z = 3-6$ . Предравновесная эмиссия столь тяжелых фрагментов слабо изучена и, на первый взгляд, загадочна.

Регистрация предравновесных фрагментов будет использоваться в качестве триггера начала ядерной реакции, поскольку они возникают в момент времени, близкий к нулю. Включение предравновесных фрагментов в корреляционные измерения совместно с фрагментами статистического развала ядра является способом определения полной временной шкалы процесса. Эта величина, характеризующая динамику процесса, связана с величиной вязкости горячей ядерной материи, которая никем до сих пор не измерялась. Это не просто сделать, но весьма перспективно.

Важнейшим экспериментальным доводом в пользу существования спиноподобного состояния является то, что температура системы в момент развала  $T$  меньше, чем  $T_c$ , критическая температура для фазового перехода жидкость-газ. Мы планируем новые исследования для более надежного определения этого ключевого параметра.

Эксперименты будут проводиться с помощью 4л установки ФАЗА-3, которая отличается введением нового детекторного модуля. Этот модуль мы называем «польским», так как он был создан в ИЯФ (Краков), а усовершенствован в Дубне. Он составляет триггерную часть установки ФАЗА-3 совместно с пятью телескопами, «унаследованными» от ФАЗА-2. Кроме того, он обеспечивает проведение корреляционных измерений для генетически связанных фрагментов, что обещает дать качественно новую информацию о процессе.

**Надежда КАВАЛЕРОВА**

сандр Глазов. Исследование этого процесса и определение функций распределения партонов – одна из первоочередных задач начального этапа работы коллайдера и установки ATLAS. Совместные работы в этом направлении обещают быть плодотворными.

Другое новое предложение было сделано С. Н. Карповым. Оно касалось возможности использования уникальной мюонной системы установки ATLAS для регистрации солнечных космических лучей высоких энергий, происхождение которых до сих пор остается «солнечной» загадкой. Основная проблема состоит в организации возможности (соответствующего триггера) набора данных от солнечных мюонов во время работы ускорителя.

Помимо этого Г. И. Лыкасов обсуждал механизмы образования очарованных и прелестных частиц в адронных столкновениях высоких энергий. В рамках модели мягкого образования мезонов с тяжелыми кварками группе под его руководством удалось получить интересные результаты, применимые, в частности, для форвард-физики на LHC. Ю. А. Кульчицкий сделал развернутое предложение по исследованию на установке ATLAS так называе-

мых минимум-бояз событий, а также событий с очень большой множественностью вторичных заряженных частиц, образующихся в адронных столкновениях. В этом направлении им получены многообещающие результаты на основе анализа данных с установки CDF, работающей на коллайдере Тэватрон.

Уже ставшее традиционным для дубненских рабочих совещаний выступление о состоянии предложений по поиску магнитных зарядов в проекте ATLAS сделал наш коллега из Минска Ю. А. Курочкин. Новые интересные возможности по идентификации на LHC спина гравитационных резонансов обсуждал в своем докладе наш гость из Гомеля А. А. Панков. Им также предложен простой алгоритм разделения вкладов массивных резонансных состояний со значениями спина 0, 1 и 2.

О пространстве скоростей Лобачевского и возможности их использования при анализе данных глубоконеупругого и адрон-адронного рассеяния рассказал Н. Г. Фадеев.

Специалисты ЛЯП по компьютерингу в ATLAS-эксперименте А. С. Жемчугов и М. Шиякова сделали сообщения о современном состоянии компьютерной

инфраструктуры ATLAS в ОИЯИ и результатах испытаний грид-сегмента ОИЯИ в 2008 году. В целом ситуация в этой сфере деятельности дубненской команды коллаборации ATLAS выглядит вполне оптимистически. Практически без особой натяжки можно утверждать, что ОИЯИ вполне готов к приему данных с детекторов LHC.

В заключение отметим два отрадных факта. Во-первых, «в недрах» ОИЯИ постоянно рождаются новые идеи для физпрограммы ATLAS, и, во-вторых, некоторые из них действительно превращаются в серьезные и проработанные до уровня коллаборации предложения. Прекрасный пример такого сорта – сделанное в прошлом дубненском рабочем совещании предложение М. Чижова о поиске экзотического  $Z^*$  бозона на установке ATLAS. Сегодня эта задача «прошла через коллаборацию», по правилам которой сгенерированы наборы данных и ведется анализ. По существу, эта задача получила признание и закреплена за ОИЯИ. В этой связи хочется пожелать всем нашим сотрудникам взять этот пример, как говорится, на вооружение.

**Вадим БЕДНЯКОВ**