

Самое сердце Европы, четвертый год XXI века

Несколько дней беззаботного, теплого и мягкого европейского лета. Вена - чистый, светлый и улыбочивый город, почти повсеместно хорошо и уверенно говорящий по-английски. Сразу видно, что уже давно и успешно ориентирован на приезжающих со всего света туристов (понятно, почему здесь так много китайцев и японцев). Уникальна архитектура. Почти каждый дом - шедевр и, видно, что сильно гордится собой (такой чистый и умытый). Отель, хоть и не высшего класса, но приветливый, предупредительный и внимательный. Ночной кофе или пиво всегда под рукой, и обязательно с раннего утра молчаливые австрийцы тайландского происхождения готовы сервировать вам завтрак, безмолвно улыбаясь. Люди наслаждаются жизнью - пьют пиво, неторопливо поглощают всякие вкусные разности и смотрят по ночам не отрываясь кино на огромном экране во всю площадь перед венской ратушей. Просто толпы народа, и ночью тоже.



Неудивительно, что именно здесь, в Вене, проходит международная конференция с таким странным названием - "Physics at LHC" - какая-то Физика, да еще на странном эЛэйЧСи. А ведь это - главное направление будущего развития физики элементарных частиц и астрофизики. Как минимум, лет на десять вперед мы будем сверять свои физические часы с дыханием ЛНС, как до этого сверяли ритм своей жизни по LEP.

Итак, две главные темы конференции - это разнообразные бозоны Хиггса и суперсимметрия. Примерно вдвое меньше времени было уделено двум другим основным направлениям - физике тяжелых ионов и физике b-кварков. В настоящее время b-физика - главный полигон исследования нарушения CP-симметрии, что имеет ключевое значение для понимания истории образования нашей Вселенной, в частности, ее барионной асимметрии. Работы в этой области идут полным ходом и, как минимум, лет на десять лет их еще хватит. Обсуждались еще Стандартная модель (СМ) и квантовая хромодинамика (КХД).

Как всегда, первое заседание открывают приветственным словом сами организаторы конференции в лице австрийской Академии наук (профессор W.Kummer) и венского Института высоких энергий (профессор W.Majerotto). Главное пожелание участникам - плодотворной работы и, без этого нельзя, обязательно "проникнуться духом Вены", поскольку Вена действительно уникальное место и само по себе, несомненно, достойно особого внимания.

Далее пошла работа. Общее положение дел на начало лета 2004 года по проекту ЛНС, уникальные характеристики этого коллайдера, программу ввода его в эксплуатацию и программу модернизации представил в первом научном докладе J.Engelen (CERN). Отмечен был вклад в создание различных элементов коллайдера таких стран, как Россия (Новосибирск, Протвино), Канада, Индия, Япония (КЕК), США (FNAL, BNL). Начало работы планируется на весну 2007 г. со светимостью 10^{33} см²/сек с последующим поднятием светимости на порядок за несколько лет. Среди главных проблем на этом пути - необходимость накопления в пучке большой энергии (до 350 МДж) и устранение эффекта электронного облака.

Ведутся работы по сборке детекторов ATLAS, CMS и ALICE. Место расположения детектора ATLAS под землей уже выглядит вполне "индустриально" и значительно плотнее заполнено, чем подземная область, предназначенная для CMS. Несмотря на разного рода трудности, заметный прогресс отмечен в подготовке обоих экспериментов. Та же ситуация имеет место для LHCb и ALICE. Компьютинг на ЛНС успешно развивается. Шаг за шагом создается LHC GRID и уже достигнут заметный технический прогресс, однако необходимы дополнительные ресурсы. Современное состояние дел на ЛНС и в CERN в целом было тесно увязано докладчиком с перспективами развития и модернизации как коллайдера ЛНС, так и общей стратегии работ в CERN на перспективу до 2020 года. В заключение было сказано, что ЛНС-проект аккумулирует в себе наиболее многообещающие усилия в физике частиц нашего



времени и, что важно, эти усилия уже начали воплощаться в жизнь. Главная задача ускорительщиков - обеспечить пучок и первые столкновения частиц в 2007 году.

Стратегия поиска и обнаружение бозонов Хиггса

Первый день работы конференции был посвящен обсуждению стратегии поиска и обнаружения бозонов Хиггса. Начало положено обзорным теоретическим докладом А. Djouadi (Париж)

на предмет ожидаемых при энергиях LHC феноменологических проявлений бозона Хиггса Стандартной модели (СМ) и плеяды хиггсовых бозонов суперсимметричных (SUSY) теорий. Были рассмотрены ключевые механизмы образования бозона Хиггса в СМ, особое место уделено роли радиационных поправок в каждом из механизмов рождения. Главное заключение - детектирование бозона Хиггса СМ в принципе гарантировано, поскольку даже для низкой светимости LHC уровень в 5σ вполне достижим, если принимать во внимание **все** возможные каналы образования и распада. Отмечены основные способы проверки механизма нарушения электрослабой симметрии на LHC, включающие в себя определение масс(ы), спина, четности, ширины распада бозонов Хиггса, их констант связи с фермионами и самодействия.

Для нейтральных бозонов Хиггса в минимально SUSY расширенной СМ (MSSM) перспектива обнаружения близка к случаю СМ, однако здесь ситуация выглядит более запутанной, поскольку имеется значительно большее разнообразие константы связи как с фермионами, так и с калибровочными бозонами. Для заряженного бозона Хиггса (естественно, суперсимметричного) механизм образования в сильной мере зависит от соотношения его массы и массы топ-кварка. Главными продуктами распада заряженного бозона Хиггса в MSSM являются тау-лептонная пара и пара $t\bar{b}$ -кварков. В докладе рассмотрены различные сценарии, в частности, такой, когда все MSSM бозоны Хиггса, кроме легчайшего, имеют достаточно большие массы и их поиск практически не зависит от поиска легчайшего бозона Хиггса. Значительно более проблематичен промежуточный случай, когда массы бозонов Хиггса MSSM недостаточно велики. При этом регистрация легчайшего бозона Хиггса за счет подавления его взаимодействия с калибровочными бозонами и значительного уменьшения сечения его образования более проблематична, чем в СМ. Еще более запутанная ситуация с остальными бозонами Хиггса MSSM.

Наиболее привлекателен, безусловно, случай "сильной" связи, когда параметр $\tan\beta$ достаточно велик, а массовый параметр Хиггс-сектора M_A не превышает 150 ГэВ. В этом случае имеет место легкий сектор бозонов Хиггса (массы всех бозонов Хиггса примерно равны 150-200 ГэВ), сечения взаимодействия достаточно велики для значительного числа возможных каналов и допустима практически полная проверка предсказаний MSSM. С другой стороны, имеются и свои специфические проблемы, такие как слишком большие ширины распада бозона Хиггса, когда один канал распада становится фоном для другого и т.п.

Учет возможного влияния "не слишком" тяжелых SUSY частиц еще более усложняет ситуацию, особенно важной может быть роль петлевых SUSY поправок и распада бозонов Хиггса на SUSY частицы, что приводит к необходимости изменения стратегии поиска. Каскадные распады самих SUSY частиц, таких как, например, с-топ-кварк, также усугубляет ситуацию, поскольку бозоны Хиггса здесь могут фигурировать как на промежуточных, так и на конечных стадиях каскада.

В этой связи хочется отметить: поскольку вероятность того или иного канала распада в значительной степени зависит от соотношения масс как самих бозонов Хиггса, так и масс других частиц, в том числе и не известных заранее масс SUSY частиц, то необходима тщательная систематизация всех таких индуцированных SUSY возможностей. Такого сорта комплексные исследования только начались, и совершенно ясно, что необходимы дальнейшие всесторонние усилия именно в этом направлении. С другой стороны, как хорошо известно, MSSM - это еще далеко не единственная реализация SUSY, и возможны вполне разумные сценарии за рамками MSSM, например такие как Next-to-MSSM, где имеется более богатый Хиггсовский сектор, т.е. помимо одного заряженного бозона Хиггса, есть еще три CP-четных и два CP-нечетных бозона Хиггса. Преимущество данной схемы состоит, в частности в том, что практически полностью снимаются

ограничения на массы бозонов Хиггса с LEP и допустимы очень легкие массы бозонов Хиггса (менее 50 ГэВ). Даже в специальном сценарии двух легких CP-четных бозонов Хиггса представляется крайне сложным разобраться во всех возможных сигнатурах и каскадах распадов этой модели.

В заключение доклада Абдельхак Джоуфди отметил, что благодаря уже большой проделанной работе (как теоретиков, так и экспериментаторов) детектирование бозонов Хиггса SM (причем любых масс) гарантировано на LHC. Необходимый следующий важный шаг - это детальная проверка механизма нарушения электрослабой симметрии, то есть измерение массы, ширины распада, констант связи с фермионами и самодействие бозонов Хиггса, их спина и четности. В целом докладчик считает, что легкий бозон Хиггса MSSM (и другие его собратья) также должен быть зарегистрирован на LHC. Однако существенные сложности возникают из-за специфических областей пространства параметров MSSM, и множества возможностей с рождением и распадами SUSY частиц, да и вполне возможной неминимальностью самой SUSY.

"Экзотическая" возможность отсутствия вовсе сигнала от бозонов Хиггса и одна из вероятных интерпретаций такого "несчастливого случая" был рассмотрена была в докладе M.Chanowitz (LBL, USA).

Современный статус поиска бозонов Хиггса на LEP и Тэватроне обсуждался в выступлениях N.Konstantinidis (University College, London) и B.Tuchming (Saclay, France). Был проведен анализ данных LEP и даны верхние границы масс бозонов Хиггса как в SM, так и вне SM (фермион-фобик, невидимых, флавор-независимых, заряженных и нейтральных в MSSM). Отмечено, что если масса бозона Хиггса SM действительно окажется равной примерно 116 ГэВ, то на LEP была зарегистрирована самая первая в мире пара бозонов Хиггса. Проанализирована связь увеличения точности измерения электрослабых данных, таких как масса топ-кварка, константы сильного взаимодействия на Z-пик с массой бозона Хиггса. Показано, что масса SM бозона Хиггса меньше 237 ГэВ. Главный источник увеличения точности определения электрослабых параметров на ближайшие три года - это Тэватрон (за счет уточнения масс топ-кварка и W-бозона).

Как известно, поиск бозона Хиггса SM (легче 130 ГэВ) на Тэватроне ведется D0 и CDF коллаборациями путем регистрации подходящих $b(\text{анти})b$ -пар, сопровождающихся лептонной парой от распада калибровочного бозона, который ассоциативно рождается в адронных столкновениях вместе с бозоном Хиггса. Для тяжелых бозонов Хиггса SM (тяжелее 130 ГэВ) главный канал образования на Тэватроне - слияние глюонов, при этом регистрация осуществляется за счет распада бозона Хиггса на пару калибровочных бозонов (один из которых чаще всего виртуальный) с образованием лептонных пар. На базе половины обработанной статистики ни D0, ни CDF пока таких распадов не обнаружили. В докладе приведены верхние границы на произведения сечений образования на относительные вероятности распада по соответствующему каналу как для легких, так и для тяжелых бозонов Хиггса. Обсуждаются также перспективы и надежды на обнаружение бозона Хиггса и исследования его характеристик по мере увеличения светимости Тэватрона.

Обзор широкого спектра возможностей обнаружения на LHC бозонов Хиггса различного происхождения (SM, MSSM, и т.п.) сделал P.Sphicas (Athens). Рассмотрены варианты образования и распадов легких, тяжелых и очень тяжелых бозонов Хиггса в SM. Особое внимание уделено механизму образования бозонов Хиггса за счет слияния векторных бозонов. Утверждается, что на LHC будут исследованы все области допустимых значений масс бозона Хиггса SM. Для регистрации эффекта обнаружения бозона Хиггса на уровне 5 стандартных отклонений достаточно (всего) нескольких месяцев набора данных при минимальной светимости LHC. Исследована точность определения на LHC таких параметров бозона Хиггса, как масса, ширины распада, спин и четность.

Во второй половине доклада Sphicas расширил свой анализ на область бозонов Хиггса в MSSM и рассмотрел область масс и основные моды распада и образования как легчайшего, так и тяжелых бозонов Хиггса в MSSM. Список уже исследованных (в той или иной мере) мод включает уже более 35 распадов. Возможности регистрации всех нейтральных бозонов Хиггса MSSM наиболее удобно представлять в плоскости параметров $\tan\beta$ и M_A , от которых в наиболее сильной форме зависит вся феноменология хиггсова сектора MSSM. Как уже отмечалось, значительное усложнение в процедуру регистрации бозонов Хиггса привносят SUSY частицы, которые могут участвовать как в процессах

образования, так и распадов бозонов Хиггса. Особенно интересен случай, когда массы нейтрально и чарджино не превышают 1 ТэВ.

Главное заключение по поводу перспектив обнаружения бозонов Хиггса в MSSM основано на полной уверенности докладчика в том, что по крайней мере один из таких бозон Хиггса будет обнаружен. Дополнительные сложности возникают в случае малых и промежуточных значений $\tan\beta$ и малых M_A , где очень трудно отличить феноменологию CM от MSSM. "Невидимые" бозоны Хиггса тоже представляют проблему. В целом, поскольку детекторы LHC разрабатывались для поиска и регистрации именно бозонов Хиггса, то неудивительна уверенность автора в том, что весь спектр масс бозона Хиггса в CM будет исследован в течение одного года. Тот же оптимизм касается MSSM расширения, где легчайший бозон Хиггса также будет доступен для регистрации. В зависимости от параметров MSSM, если повезет, то, в принципе, можно будет зарегистрировать все бозоны Хиггса MSSM. Однако не следует забывать о незримо присутствующей возможности различных расширений MSSM, например, с учетом CP-нарушения и т.п. В настоящее время продолжается поиск наиболее подходящих процессов регистрации бозонов Хиггса, в частности, считается очень перспективным механизм образования бозонов Хиггса за счет слияния векторных бозонов. Доклад Sphicas'a особенно в его теоретической части сильно перекрывается с предыдущим докладом A.Djouadi.

Вся вторая половина первого дня была полностью занята рабочей сессией, посвященной проблеме бозонов Хиггса. На сессии было сделано 9 докладов, причем только два из них (А.Кулеша и Д.Ройя) не касались обсуждения перспектив детектирования бозонов Хиггса на основе моделирования конкретных условий детекторов CMS и ATLAS.

Чисто теоретический доклад был сделан A.Kulesza из Карлсруэ. Он касался вопроса борьбы с большими логарифмическими поправками высших порядков при вычислении распределений по поперечному импульсу рождающихся на LHC бозонов Хиггса. Была предложена новая схема их пересуммирования, учитывающая пороговые и другие поправки.

От лица коллаборации ATLAS V.Perez Reale (Bern) сделала сообщение о системе триггирования. Главный упор касался триггеров, необходимых для выделения сигнала от бозонов Хиггса. Для решения поставленных на LHC задач необходим очень высокий уровень редукции числа событий (10^{13}), поскольку, к примеру, число перекрывающихся событий при пересечении двух сгустков пучка достигает 23. Система триггирования ATLAS позволяет при частоте взаимодействия в 1 ГГц достичь скорости записи данных на уровне 200 Гц. При этом используются как триггер низшего уровня (Hardware) так и триггер высокого (Software) уровня. На примере распадов Хиггса бозонов на четыре лептона (преимущественно электрона) и два фотона продемонстрирована эффективность работы системы различных триггеров ATLAS. По существу, впервые в полной мере проведено исследование системы триггеров и эффективности офф-лайн селекции событий распадов бозонов Хиггса при полной симуляции детектора ATLAS. Оценка ошибочного отбрасывания правильных событий не превышает 1 процента. В настоящее время продолжается дальнейшая работа для других каналов распада бозонов Хиггса.

Два детальных и совершенно независимых друг от друга доклада от коллабораций ATLAS и CMS были посвящены распаду бозона Хиггса на 4 мюона. S.Hassani (Saclay, France) на базе полного моделирования установки ATLAS рассмотрел (для низкой светимости LHC) вопросы о точности определения массы бозона Хиггса CM, качестве подавления фона и оценил ожидаемую степень значимости возможной регистрации бозона Хиггса по его распаду на 4 мюона. Основная идея состояла в том, чтобы учесть реальные условия работы и возможности мюонной системы, внутреннего детектора и проверить программное обеспечение по реконструкции событий. В целом результаты данного более аккуратного анализа несколько ухудшают ожидаемое разрешение и эффективность (примерно на 10 процентов). Аналогичная работа была проделана для детектора CMS M.Sani (Florence, Italy), и был получен близкий результат. В частности, очень хорошее разрешение CMS по импульсу мюона весьма важно для успешного исследования распада бозона Хиггса на 4 мюона. Для низкой светимости LHC бозон Хиггса с массой в интервале от 200 до 400 ГэВ может быть зарегистрирован менее чем за год работы CMS. Несколько лет необходимо для регистрации таким же образом бозона Хиггса с массой 125-140 ГэВ.

В связи с этим замечательным распадом ($H \rightarrow 4\mu$) одно вызывает недоумение. Перспективы этого распада для установки ATLAS были изучены также в ОИЯИ, но где потерялась наша группа - осталось загадкой.

S. Armstrong (BNL, USA) показал, что механизм образования бозонов Хиггса за счет слияния векторных бозонов (VBF-механизм) весьма перспективен для поиска бозонов Хиггса промежуточных масс (от $2M_Z$ до 500 ГэВ). Поиск Хиггс-бозонов СМ меньших масс (от 125 ГэВ до $2M_Z$) за счет VBF-механизма обладает также значительной чувствительностью, поскольку имеется возможность мечения так называемых форвард-струй (с большим значением быстроты) одновременно с наложением вето-условия на струи из центральной области. Этот оптимистический результат не зависит от использованного типа генератора событий и является весьма стабильным. VBF-механизм перспективен для поиска так называемых невидимых мод распада бозонов Хиггса. Он позволяет измерить также параметры бозона Хиггса в СМ. Используя различных моды VBF-механизма (в одном и том же эксперименте) можно исследовать значительную (если не всю) область параметров бозонов Хиггса в MSSM.

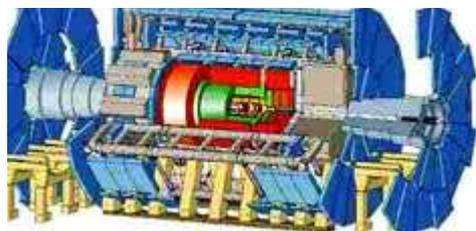
Теоретические проблемы и возможности поиска заряженных бозонов Хиггса MSSM на LHC обсуждались в докладе Д.П.Ройя (D.P.Roy, TIFR Mumbai, India). Если заряженный бозон Хиггса легче t-кварка, то t-кварк может распадаться на этот бозон и b-кварк, когда же t-кварк легче заряженного бозона Хиггса, наоборот, сам бозон Хиггса распадается на t-кварк и b-антикварк, или на тау-лептонную пару и W-бозон и легчайший бозон Хиггса с MSSM. Обсуждалась роль как NLO КХД, так и SUSY КХД поправок.

Создается впечатление, что эта область еще не разработана так же хорошо как, скажем, процессы с нейтральными бозонами Хиггса, пока нет работ по симуляции процессов прохождения заряженных бозонов Хиггса через ATLAS.

Для четырех типичных сценариев MSSM поиска бозонов Хиггса для установки CMS N. Marinelli (Athens, Greece) рассмотрел "нестандартный" - посредством скварк (или глюино) каскада, механизм образования всех трех нейтральных бозонов Хиггса в MSSM. Продемонстрирована неплохая возможность регистрации этих нейтральных бозонов в случае малых значений $\tan\beta$ и массового параметра M_A , когда другие, более "стандартные" сценарии их поиска оказываются неэффективными. Отмечено, что, по крайней мере, легчайший бозон Хиггса может быть вполне зарегистрирован посредством такого SUSY каскада. Исследование каскадного рождения бозонов Хиггса представляет особый интерес, поскольку оно позволяет, в принципе, определять интенсивность взаимодействия MSSM бозонов Хиггса с SUSY частицами (скварками и гайджитино). В настоящее время этот анализ проводится на базе полной симуляции детектора CMS. *По всей видимости, такая же задача должна стоять и перед ATLAS'ом.*

Весьма детальное исследование возможности регистрации с помощью детектора CMS частицы Радион - скалярной проекции гравитона в теориях высших размерностей было представлено S. Gennai (Pisa, Italy). Основной механизм образования радиона - это глюон-глюонное слияние (аналогичное одному из каналов рождения нейтрального бозона Хиггса), основной механизм распада - это распад на два легчайших бозона Хиггса. При этом конечные состояния содержат 4 частицы (bb-пару в сопровождении $\tau\tau$ -, $\tau\tau$ - или bb-пары). Результаты моделирования позволяют иметь хорошие перспективы для регистрации как радиона (с массой 300 ГэВ) так и бозона Хиггса (с массой около 125 ГэВ) по всем рассмотренным конечным состояниям. Наиболее перспективен канал с четырьмя b-кварками.

Не менее важным, чем обнаружение бозонов Хиггса, является определение их основных характеристик. В докладе M. Dührssen (Freiburg, Germany) показано, что измерение массы возможно как минимум с точностью 1 процент. Имеется несколько способов определения спина и CP-четности бозонов Хиггса. Сочетание всех регистрируемых каналов позволяет провести измерение также относительных интенсивностей взаимодействия бозонов Хиггса по разным каналам с точностью 10-50 процентов. Полная ширина Хиггс-бозона не наблюдаема непосредственно, поскольку невозможно отделить процесс рождения бозона Хиггса от процесса его распада. Поэтому приходится делать некоторые теоретические допущения (о CP-четности и нулевом спине) при определении абсолютных значений констант связи бозона Хиггса с различными частицами. Измерение абсолютных значений констант



связи бозонов Хиггса по разным каналам взаимодействия поможет определить природу (SM или MSSM) самих бозонов Хиггса особенно в сложных для анализа областях параметров.

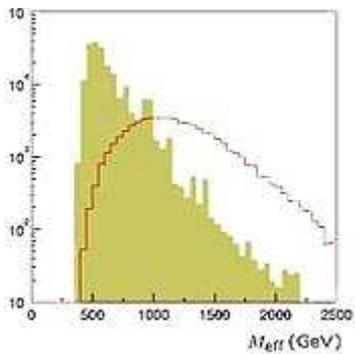
Первый день довольно быстро и вполне естественно завершился Welcome-party в самой настоящей венской ратуше и сопровождался приветствием мэра Вены. Внутри все солидно и чопорно, понятно, что здесь собираются серьезные люди принимать важные для города решения, хотя на площади перед ратушей расположен огромный экран, где теплыми венскими вечерами самый разнообразный народ, подзаправившись изрядно пищей, вином и пивом прямо здесь перед экраном, весьма комфортно проводит как остаток текущего дня, так и незаметно встречает наступление нового. В общем, не напрягаются, живут и отдыхают в свое удовольствие.

Суперсимметрия: от статуса - к планам коллабораций

День второй посвящен был суперсимметрии, однако начался с больших пленарных статусных докладов коллабораций ATLAS и CMS. О состоянии дел в коллаборации ATLAS рассказал Marzio Nessi (CERN). Все компоненты ATLAS Barrel Toroid уже произведены, ведется его сборка (полугодичная задержка вызвана проблемами с доставкой компонент тепловой защиты, сваркой охлаждающих азотных трубок). Завершается производство камер для мюонной спектроскопии. Произведено уже 88 процентов MDT камер, критичным является фронт-энд электроника. Электромагнитный баррель калориметр и соленоид уже подверглись охлаждению и готовы для окончательной проверки. Все ATLAS калориметры находятся на завершающей стадии сборки. Баррели уже готовы для инсталляции и будут помещены в подземные условия проведения эксперимента в конце 2004 года. Началось массовое производство фронт-энд электроники. Проводятся тестовые измерения на пучках, которые демонстрируют ожидаемые характеристики аппаратуры. Следующий шаг - это сборка узлов детектора под землей. Полным ходом идет производство компонент внутреннего детектора и другие сопутствующие работы. Различные работы ведутся параллельно. По словам Марцио Несси, имеет место заметный прогресс в создании детектора ATLAS. Уже многие компоненты перешли из стадии производства в стадию установки и запуска (инфраструктура, криогеника, мюонная система, калориметрия и т.п.). Главные усилия в настоящее время сосредоточены на производстве внутренней трекинг-системы, которая должна быть полностью готова в первой половине 2006 года. Другая основная проблема - это необходимость успеть вовремя со сборкой, проверкой, и монтажом под землей баррель-тороида, задержка которого была обусловлена проблемами с доставкой его компонент в 2003 году. Значительная активность по сборке, проверке и запуску отдельных элементов установки в ЦЕРН в наземных условиях крайне важна для успешных и своевременных сборочных работ под землей. Начаты подземные работы по сборке узлов детектора. Все необходимые подземные помещения уже переданы в распоряжение коллаборации и закончена инсталляция всей инфраструктуры. Осенью 2004 года ожидается установка первой тороидальной катушки и предполагается спускание под землю барреля LAr-криостата. Начаты важные комбинированные проверки частей установки на пучке.

Статус работ по установке CMS столь же полно был изложен в докладе А.Бэла (A.Ball, CERN). Отметим лишь некоторые различия. Главное отличие по отношению к ATLAS состоит в том, что CMS-детектор будет собран на поверхности земли и потом целиком опущен под землю, в условия непосредственного проведения эксперимента. Подземное помещение для детектора CMS еще не полностью готово к установке необходимой околдетекторной электроники, систем питания и т.п. Начало этих работ ожидается в апреле 2006 года. В целом, несмотря на возможные проблемы, коллаборация имеет своей целью подготовить CMS к подземной работе к апрелю 2007 года.

Суперсимметрия обладает очень широким спектром феноменологических проявлений (множество супер-партнеров, последовательности распадов, кандидаты на роль темной материи, нарушение R-четности, CP-нарушение, нарушение закона сохранения лептонного числа, и т.д. и т.п.). Тем не менее, классик и новый Нобелевский лауреат Дэвид Гросс сказал: "Экспериментальное обнаружение суперсимметрии равносильно обнаружению квантовой размерности пространства-времени". Однако всем известно, что суперсимметрия должна быть нарушена, причем необходимо спонтанное и мягкое нарушение SUSY. Вот именно для этого и придуман так называемый скрытый сектор SUSY, где, собственно, и происходит (непонятно как) столь необходимое нам нарушение SUSY. Далее уже это



нарушение путем специального, не зависящего от типа частиц (флэйвора), взаимодействия переносится в наш, наблюдаемый сектор суперсимметричной теории. Проявления SUSY, то есть ее феноменология, в сильной степени зависит именно от механизма переноса этого нарушения (гравитационное, калибровочное, путем гейджино, аномальное или за счет струн и т.п.), а также в значительной степени и энергетического масштаба, на котором оно происходит. Доклад Сабины Крамл (S.Kraml, Vienna, Austria) был, главным образом, посвящен рассмотрению зависимости SUSY феноменологии (спектра частиц, кто легчайшая LSP и т.п.) от характера переноса нарушения SUSY в наш видимый сектор из скрытого. Отмечены были также две важные возможности

SUSY моделей: CP-нарушение через CP-нечетные мягкие фазы и нарушение лептонного числа за счет несохранения R-четности и смешивания нейтрино с нейтралينو. Отмечена опасность принять за проявление SUSY сигнал от дополнительных размерностей (отличающийся только спином).

J.-F.Grivaz (Paris) рассказал о результатах "стандартного" SUSY поиска (при сохранении R-четности, когда нейтралино - LSP и MSSM берется с учетом граничных условий на объединение) на LEP и на Тэватроне (где за счет цветного заряда рождение скварков и глюино, а также и соответствующий фон значительно усилены). На LEP основные каналы поиска SUSY - это события с t-скварками и с мюонами. Был проведен поиск чарджино и нейтралино, а также предприняты попытки получить ограничения на легчайшую SUSY частицу LSP (нейтралино). На Тэватроне в D0 эксперименте был проведен поиск трехлептонных событий ассоциативного образования нейтралино и чарджино с распадом на лептоны и два LSP. Особый интерес представляет распад B_s -мезона (содержащего s-кварк) на два мюона. В SM его вероятность очень мала, однако в MSSM она пропорциональна 6-й степени $\tan\beta$, что позволяет получать весьма жесткие ограничения на параметрическое пространство MSSM. В целом основные ограничения на SUSY частицы получены с LEP, однако Тэватрон уже близок к тому, чтобы начать снабжать нас новыми, превосходящими по точности LEP ограничениями.

Обзор перспектив обнаружения SUSY на LHC был сделан Франком Пэйджем из Брукхейвенской национальной лаборатории (F.Paige, BNL, USA). Суперсимметрия, с массами SUSY частиц в тэвной области, является весьма привлекательной схемой расширения SM. Она естественным образом объясняет бозоны Хиггса с массами в области 100 ГэВ, дает подходящего кандидата на роль темной материи - нейтральное, стабильное и легчайшее SUSY состояние - нейтралино. Необходимость такой темной материи уже хорошо установлена результатами измерений анизотропии фонового микроволнового излучения. Сложность обнаружения SUSY состоит в том, что фоном к искомому SUSY процессу часто является другой, тоже SUSY процесс. По этой причине приходится опираться на дополнительные модельные предположения. В этой связи, видимо, уместно заметить, что *обнаружение SUSY есть, по существу, доказательство справедливости той или иной реализации SUSY - MSSM, NMSSM, и т.п.* Наиболее популярна и более всего разработана mSUGRA версия SUSY, обладающая всего четырьмя параметрами (плюс знак параметра μ). Однако рассмотрены также другие варианты нарушения SUSY - GMSB, AMSB и др.

Основной канал образования SUSY (тэвных) частиц на LHC осуществляется посредством глюино и скварков, которые взаимодействуют сильным образом, а вероятность их рождения сравнима с вероятностью образования адронных струй (при одинаковых переданных импульсах). Основная характеристика SUSY-события - это распад или цепочка распадов с образованием в конечном состоянии легчайшей стабильной слабовзаимодействующей частицы (нейтралино), наличие которой всегда сопровождается значительной недостающей "поперечной" энергией. Согласно моделированию SUSY-сигнал должен быть легко виден в области максимальных значений поперечной эффективной массы, которая представляет собой сумму недостающей поперечной энергии и поперечных энергий четырех и более адронных струн. Оптимистическая оценка состоит в том, что такой SUSY-сигнал легко может быть обнаружен, однако прежде необходимо крайне тщательно исследовать возможности и характеристики самих детекторов. После наблюдения значительного числа аномальных, SUSY-подобных событий (то есть много струй и большая недостающая поперечная энергия) можно будет предпринимать попытки определения таких SUSY характеристик, как разности масс нейтралино и т.п., путем, например, тщательного кинематического изучения конца распределения событий по соответствующей эффективной массе (endpoint fit). Главным фоном в этом случае будет образование топ-анти-кварковых пар, подавление которого можно будет осуществить за счет пар изолированных

лептонов. Особый интерес для дискриминации SUSY моделей представляют скварки 3-го поколения, однако их выделение весьма сложно. Главным источником является (каскадный) распад глюино. Тем не менее, путем фитирования конца распределения по эффективной массе $t\bar{b}$ -пары удастся достичь точности определения разности масс глюино и чарджино на уровне 10 процентов.

При нарушении SUSY калибровочным способом (GMSB-схема) LSP уже другая частица - гравитино и феноменология SUSY зависит от природы следующей за гравитино легчайшей SUSY частицы (NLSP), обычно это нейтрино или с-лептон, время жизни которого тесно связано с масштабом нарушения SUSY. Распад NLSP-нейтрино на LSP-гравитино сопровождается испусканием так называемого "ни-на-что-не-указывающего" (non-pointing) фотона - главная поддающаяся измерению характеристика этого распада. Другая особенность GMSB-схемы - долгоживущие слептоны, которые ведут себя как обычные мюоны. Однако слептоны возможно легко отделить на основании селекции по импульсу и скорости.

Итак, если имеет место именно "тэвная" SUSY, то ATLAS и CMS должны ее "легко" зарегистрировать на основе совместных инклюзивных измерений. Методы регистрации часто вынуждены опираться на анализ последовательных цепочек распадов. При этом приходится принимать во внимание весь набор масс и констант связи SUSY частиц, принимающих участие в цепочке распадов. Значительные усилия еще предстоит предпринять в этом направлении, отсутствует пока даже анализ на уровне быстрого моделирования установок. Не учтены важные ограничения из астрофизики и не рассмотрены пока особо сложные последовательности распадов. Недостаточно обсуждается процедура измерения сечений и относительных вероятностей различных каналов образования и распада SUSY частиц.

Известный классик суперсимметрии Г.Кейн (G.Kane, Michigan, USA) в своем выступлении под названием "После бокала шампанского - к фундаментальной теории", обсуждал вопрос о том, какие собственно шаги необходимо предпринять после самого первого экспериментального обнаружения долгожданного сигнала новой физики, сигнала SUSY. Проблема в том, что само по себе обнаружение чего-то, похожего на SUSY-сигнал, недостаточно. Главное в том, что именно и с какой степенью достоверности можно сказать на основе этого сигнала о SUSY, ее конкретной реализации, ее параметрах. Значительную помощь мог бы оказать в этом деле будущий линейный коллайдер, но пока его нет, надо искать другие надежные методы. Наилучшим, основным, претендентом на адекватное объяснение новой физики пока остается SUSY. Этому много причин, все они перечислены в докладе. Центральная нерешенная проблема CM - это механизм электрослабого нарушения симметрии, механизм Хиггса. Для SUSY это, соответственно, механизм нарушения SUSY. Основной вопрос - как от данных LHC перейти к фундаментальной теории. В эксперименте измеряются такие величины, как массы именно массовых состояний соответствующих частиц и относительные вероятности образования этих массовых состояний. Но эти величины, как раз и не то, что входит в лагранжианы и чем так любят оперировать теоретики. Необходим адекватный пересчет, для проведения которого недостаточно пока лишь коллайдерных данных LHC. Здесь нужны усилия как со стороны эксперимента, так и со стороны теории. Например, для выделения потенциально интересного сигнала не следует на начальной стадии исследований накладывать изначально слишком много ограничений, поскольку нет жестких характеристик SUSY-события. Эти характеристики могут сильно варьироваться в зависимости, например, от схемы нарушения SUSY. Другая возможность состоит в проведении глобального фитирования различных коллайдерных наблюдаемых в рамках SUSY-подхода с учетом дополнительной информации неколлайдерного происхождения. На этом пути, например, можно косвенно оценить массу LSP. Г.Кейн отметил в этой связи проблему исследования нарушения CP на LHC. Данные LHC (совместно с данными более низких энергий), объединенные с адекватной теоретической схемой, позволят прояснить механизм нарушения SUSY и выбрать правильное направление на пути построения более фундаментальной базисной теории. В известном смысле, теория, пока отсутствуют данные с линейного электрон-позитронного коллайдера, должна восполнять как раз этот недостаток. Без тесной кооперации теоретиков с экспериментаторами будет крайне трудно продвинуться далее, за пределы простого наблюдения аномальных (не CM) событий. Я спросил Г.Кейна: *"Не слишком ли много надежд возлагается на "спасительный" линейный коллайдер будущего, имеется ли возможность до этого получить недвусмысленный SUSY-сигнал?"* - и получил уверенный и непонятный ответ: *"Ищите димюоны одного знака на Тэватроне - это сигнал SUSY, нет им другого объяснения"*.

Женевьева Беланже из Франции (G.Belanger, LAPP Annecy, France) в своем выступлении "SUSY Dark Matter" обсуждала значимость низкоэнергетических следствий, следующих из астрономических ограничений на количество темной материи во Вселенной, на пространство параметров SUSY и возможность регистрации на LHC соответствующих SUSY-частиц. Предполагалось, что именно SUSY LSP и является той самой частицей холодной темной материи. Это важное предположение и позволяет связать поиск SUSY на ускорителях при высоких энергиях с такого сорта астрофизическими и космологическими ограничениями. Обсуждался в основном канонический случай mSUGRA. *В частности, полностью игнорируются данные коллаборации DAMA. Можно по-разному относиться к этим результатам, но если они правильные, то следствия для LHC должны быть крайне существенные и, что самое главное, легко проверяемые.*

Вопрос о точности определения параметров лагранжиана MSSM с помощью различных программ совместного фита данных LHC и LC обсуждается Т.Plehn'ом (CERN). В частности показано, что учет данных LC значительно (почти на порядок) увеличивает точность определения этих параметров.

В этой связи хочется заметить, что уж больно часто на форуме, посвященном физике на LHC, упоминается будущий "спасительный" линейный коллайдер LC. Создалось впечатление, что LHC неполноценен без LC. Понятно стремление теоретиков заглядывать (далеко) вперед, но давайте все же сначала детально разберемся именно с возможностями LHC, ведь столько сил и денег уже потрачено.

Маленькая индийская "бабушка" Рохини Годбоул (R.Godbole, India) представила полный обзор состояния дел с нарушением CP-симметрии в SUSY моделях. В частности было рассмотрено влияние нарушения CP на свойства заряженных и нейтральных гаджино в MSSM и возможность их регистрации на LHC. Другая область проявления CP нарушения (за счет CP нарушения в параметрах мягкого нарушения SUSY) - это бозоны Хиггса. Отмечено, что важная роль в этом исследовании на LHC принадлежит именно заряженным бозонам Хиггса, особенно в том случае, когда их масса не слишком велика, а эффект CP-нарушающих фаз максимален. В целом, возможность нарушения CP-симметрии в MSSM в значительной степени влияет на феноменологические проявления SUSY. Возможность исследования этих эффектов на адронном коллайдере LHC еще недостаточно хорошо исследована.

Интересная возможность исследования SUSY процессов с нарушенной R-симметрией, а также с нарушением закона сохранения лептонного числа была рассмотрена в докладе В.Порода из Валенсии (W.Porod, Valencia, Spain).

Точность определения SUSY параметра $\tan\beta$ с помощью CMS детектора на основе изучения распада бозона Хиггса на два τ -лептона была оценена S.Lehti (Helsinki, Finland). Особое внимание при этом обращено на влияние разного рода неопределенностей (статистики, неточности определения массы бозона Хиггса, неопределенностей в величине сечения и вероятности этого процесса, светимости коллайдера и т.п.). Источником главной неопределенности является теория. Предполагая значимость сигнала на уровне 5σ , ожидается 35-процентная точность в определении $\tan\beta$.

Первое детальное исследование возможности обнаружения SUSY (в версии mSUGRA модели) с помощью детектора CMS было выполнено группой из университета Флориды (докладчик A.Drozdetski, University of Florida, Gainesville, USA). Проведено полное моделирование детектора CMS, сделана эмуляция триггера и выполнена полная реконструкция событий. Получены оптимистические оценки для возможности регистрации такого сорта SUSY-сигнала. Группа продолжает исследования в этом направлении. *По степени проработки деталей эта работа заслуживает особого внимания, и аналогичное исследование необходимо провести для установки ATLAS.*

В mSUGRA варианте все массы SUSY-частиц, вероятности их образования и распад характеризуется пятью параметрами. Причем, каждый выбор точки в пространстве параметров отвечает вполне определенной феноменологии (т.е. вполне определенному спектру масс частиц и т.п.) и требует различных стратегий при анализе экспериментальных данных. В докладе Г.Комюнз из Берна (G.Comune, University of Bern) для одной из таких специфических точек пространства параметров mSUGRA модели, лежащей в так называемой области коаннигиляции, характеризующейся близостью



масс LSP и одной из легчайших SUSY частиц (часто с-лептона) рассмотрена возможность регистрации с помощью детектора ATLAS SUSY-сигнала и определения спектра масс некоторых SUSY-частиц (с-лептонов и гейджино). Благодаря такой близости масс двух легчайших SUSY-частиц в данном случае имеет место характерная особенность - наличие мягкого лептона в цепочка превращений SUSY-частиц. В основе методики определения масс SUSY-частиц лежит совокупность соотношений между массами этих частиц и различными комбинациями инвариантных масс продуктов их распада. В частности, максимальное значение массы лептонной пары связывает значения трех масс последовательно распадающихся SUSY-частиц.

Другая предельная mSUGRA область (focus point region) и другие, адронные, конечные состояния были рассмотрены под углом зрения регистрации SUSY-сигнала и определения масс частиц на ATLAS в выступлении Томазо Лари из Милана (T.Lari, University of Milan). Данная область параметров mSUGRA феноменологически характеризуется порой чрезмерно большими значениями масс SUSY-частиц. Также в этой работе была рассмотрена возможность реконструкции глюино и с-кварков в основной области параметров низкоэнергетического приближения mSUGRA. Это, вероятно, заключительный и решающий этап определения спектра масс всех SUSY-частиц, поскольку он опирается на результаты предшествующего измерения массы LSP. Начат анализ на базе детального моделирования детектора.

Общую стратегию поиска новой физики, и SUSY в частности, обсуждал в своем выступлении П.Ренкель (P.Renkell, Rehovot, Israel). Ситуация выглядит, вообще говоря, не многим лучше, чем в известной русской сказке, где надо найти неизвестно что неизвестно где. Более или менее понятно, что надо искать, а вот где именно, не очень. Мы знаем точно, что SUSY должна быть нарушена, но как и на каком масштабе? А от ответа на этот вопрос зависит, какая частица LSP, как устроен весь спектр SUSY-частиц, и, следовательно, какова должна быть стратегия их поиска. Более или менее также понятно, что события-претенденты должны, как минимум, характеризоваться большой недостающей долей поперечной энергии и образованием пар тяжелых частиц. В докладе предложена схема, как можно пытаться модельно-независимым путем искать неизвестный сигнал с помощью так называемого калибровочного или реперного фона. Методика позволяет находить "подозрительные" области, где может находиться искомый сигнал новой физики.

В случае нарушения SUSY калибровочным образом (GMSB-схема) LSP - гравитино, а NLSP - нейтралино или с-лептон, и вся феноменология SUSY определяется типом NLSP и его времени жизни. Если NLSP - нейтралино с относительно небольшим временем жизни, то NLSP может и распасться внутри детектора и следует искать события с недостатком поперечной энергии и так называемыми "неуказывающими-на-точку-взаимодействия" фотонами достаточно высокой энергии. В этом случае есть надежда зарегистрировать гравитино. Такая возможность исследована для ATLAS японской группой (доклад K.Kawagoe, Kobe University, Japan).

Во время секционного рабочего совещания по ультрапериферическим столкновениям были сделаны сообщения о рождении тяжелых векторных мезонов на LHC (J.Nystrand, Norway); о взаимодействии высоко-энергичных фотонов при энергиях LHC (K.Piotrkowski, Belgium); об образовании двухлептонных пар на LHC (K.Hencken, Basel) и программе исследования спектроскопии адронов на STAR (S.-U.Chung, BNL, USA).

Тяжелые ионы и В-физика

Третий день конференции начался со статуса эксперимента ALICE на LHC, который был представлен К.Фабианом (Ch.Fabjan, CERN). Обсуждались новые по сравнению с SPS и RHIC возможности использования LHC в качестве коллайдера ионов. Это значительное увеличение множественности (до 8000 на единицу быстроты или регистрации до 15000 частиц), изучение мягких процессов в новой кинематической области, новые перспективы исследования жестких процессов и т.п. Программа исследований на ALICE включает изучение глобальных свойств (множественностей, распределений по скорости), зависимости (активных) степеней свободы от температуры (отношений выходов адронов и

их спектры, непрерывные спектры дилептонов и прямых фотонов), коллективных эффектов типа эллиптических потоков, деконфайнмента (путем спектроскопии чармония и ботония), восстановления киральной симметрии, прохождение партонов через кварк-глюонную плазму и других явлений, в том числе и ряд критических.

Очень интересный обзорный доклад был сделан Джоном Харрисом (J.W.Harris, Yale University, USA) на тему современного статуса физики тяжелых ионов. Помимо простого и доходчивого введения в проблему, были обсуждены результаты RHIC (коллайдера релятивистских тяжелых ионов) и возможности образования горячего сгустка КХД материи (в "простонародье" - кварк-глюонная плазма), а также методика исследования такого состояния вещества с помощью процессов жесткого рассеяния. Полученные наблюдаемые указывают на то, что в столкновениях на RHIC образуется сильно-взаимодействующая область КХД-материи. Аналогичная тема сверх-горячей КХД-материи в столкновениях тяжелых ионов была затронута в докладе Б.Мюллера (B.Mueller), где сначала анализировался опыт SPS и RHIC, а затем обсуждались более конкретные возможности экспериментов с тяжелыми ионами на LHC.

Конкретная программа исследований с тяжелыми ионами на LHC с помощью установки ATLAS была изложена в докладе Л.Росселе (L.Rosselet, Geneva). Показано, что ATLAS имеет весьма хорошие перспективы в этом направлении. Аналогичная программа исследований с тяжелыми ионами, но уже на установке CMS, была представлена в докладе Б.Выслоха (B.Wyslouch, MIT, USA). Значительное увеличение энергии сталкивающихся тяжелых ионов на LHC позволит исследовать совершенно новые кинематические области реакций pp, pA и AA-взаимодействий при больших значениях сечений сталкивающихся частиц, изучить новые процессы в начальных состояниях, а также эффекты насыщения в области средних значений быстрот. Будут изучены более длительные фазы горячего состояния партонной материи. Детектор CMS, как и ATLAS, имеет хорошие перспективы в исследовании физики тяжелых ионов на LHC. Дополнительные возможности имеются у CMS за счет осуществления более тщательной калориметрии под нулевым углом с помощью таких приборов, как ZDC, CASTOR и TOTEM.

На рабочей сессии по тяжелым ионам обсуждались более конкретные вопросы. Так Н.Арместо (N.Armesto Perez, CERN) изложил общую теорию ослабления (quenching) струн во время их прохождения через кварк-глюонную среду. Проблемы выделения струй при огромном их образовании и взаимном перекрытии в Pb+Pb столкновениях на LHC обсуждалась в докладе А.Морша (A.Morsch, CERN). Для разделения струй (и борьбы с фоном) на установке ALICE отмечена особая необходимость эффективного триггирования и реконструкции струн, в частности с помощью дополнительного электромагнитного калориметра EMCAL, обладающего хорошим разрешением по направлению и энергии. Важность правильного выделения струны связана с пониманием и адекватным определением ее формы. Другая связанная проблеме - это значительное ослабление струй, для решения которой предлагается (по крайней мере на данном этапе) использовать возможности моделирования для определения распространения партонных ливней и оценки происходящих при этом потерь энергии.

В докладе М.Монтено (M.Monteno, Torino, Italy) обсуждалась процедура определения степени центральности в столкновениях как Pb-Pb, так и p-Pb, а также методы реконструкции в этих столкновения множественностей заряженных частиц наряду с анализом распределения этих множественностей по быстрой с помощью ZDC-детектора по измерению множественности частиц под нулевым углом к направлению пучка сталкивающихся ионов, а также с помощью кремниевого пиксель-детектора SPD. Важное место также заняло изучение зависимости множественности заряженных частиц от степени центральности в свинец-свинец столкновениях.

Доклад А.Дайнеси (A.Dainese, Padova, Italy) был посвящен обсуждению возможности использования жестких процессов как зондов при столкновениях тяжелых ионов, исследованию потерь энергии тяжелых кварков при прохождении через кварк-глюонную среду. В частности, для детектора ALICE путем исследования реакции распада D-мезона на пион и каон (выделение методом смещенной вершины) подробно рассмотрен вопрос инклюзивной реконструкции прохождения с-кварка и чувствительности к потерям энергии очарованных кварков при прохождении через кварк-глюонную среду. Это своего рода путь исследования деконфайнированной КХД-материи с помощью потерь энергии частиц-зондов, образованных в жестких процессах. Показано, что ALICE имеет хорошие

возможности в этом направлении за счет исследования процессов с тяжелыми кварками. ALICE в состоянии реконструировать D0-мезоны, образованные в свинец-свинец столкновениях при средней множественности на интервал быстроты в 6000 заряженных частиц.

Возможности детектора ALICE по исследованию распадов кваркониев с испусканием двух электронов (например, Ипсилон) рассмотрены в докладе Р.Шикера (R.Schicker, Heidelberg, Germany). Многообещающие перспективы детектора ALICE по изучению кваркония и очарованных адронов путем регистрации электронов и мюонов с помощью мюонного спектрометра были подробно обоснованы в выступлении П.Дюпэ (P.Dupieux, Clermont-Ferrand, France). Аналогичные исследования с помощью детектора CMS обсуждались в докладе О.Кадоловой из МГУ.

Второй изюминкой третьего дня была В-физика. Недавнее прошлое, интригующее настоящее и очень многообещающее будущее В-физики с немалым педагогическим шиком обрисовал профессор из Нагоя А.Санда (A.I.Sanda, Nagoya, Japan). По его утверждению, распады В-мезонов еще много-много лет будут представлять собой увлекательную область перспективных исследований. Множество новых важных данных получено недавно с помощью экспериментов специализированных экспериментов Belle (в Японии) и BaBar (в Америке), исключительно нацеленных на исследование физики нарушения CP-симметрии в распадах В-мезонов. В частности докладчик утверждает, что схема Каббиво-Кобаяши-Маскавы пока успешно работает, и, кроме того, если в низкоэнергетической эффективной теории у той или иной константы связи имеется хоть какая-нибудь возможность иметь ненулевую комплексную фазу, то это фаза с большой вероятностью себя обязательно проявит. С другой стороны, везде, где есть намеки на новую физику, можно и нужно искать нарушение CP-симметрии. Будущее этой физики - это SuperKEKB и SuperPEPII, причем светимость SuperKEKB должна быть на уровне 5×10^{35} см²/с. В связи с этой уникальной задачей докладчик вдохновенно обсуждал проблемы финансирования, и в частности, утверждал, что следующий японский главный проект будет связан с созданием линейного коллайдера, на который пока нет средств из-за работ по В-физике на KEKB. Вообще необходимость новой супер-В-фабрики признается всеми, однако она, скорее всего, будет единственной в мире, и ее финансирование начнется в том случае, когда Belle и BaBar объединятся. При этом дальнейшая стратегия исследований на супер-В-фабрике в значительной степени зависит от тех новых результатов по В-физике, что будут получены на LHC. LHC и В-фабрики дополняют друг друга. Прецизионные эксперименты (скажем, на В-фабрике) даже без прямых указаний с LHC, могут независимым образом указать нам на новую физику. Одно из ключевых утверждений автора состоит в том, что нам необходимы непредвиденные, неожиданные открытия, которые вполне могут быть совсем рядом, "за ближайшим углом".

Более детальные результаты экспериментов с обеих В-фабрик представил Д.Макфарлан (D.MacFarlane, San Diego, USA). Он ясно сформулировал главные задачи этих исследований - тщательный анализ CP-нарушающих асимметрий в распадах В-мезонов, проверка SM и поиск CP-нарушающих асимметрий за счет эффектов вне рамок SM, систематическое исследование всех возможных распадов В-мезонов, в особенности тех, которые чувствительны к проявлениям новой физики. Точное определение параметров матрицы CKM и других важных параметров SM, в том числе КХД поправок. Выполнение широкого спектра исследований других физических процессов, таких как спектроскопия тяжелых кварков, физика тау-лептона, КЭД, непертурбативная КХД и т.п. Совместно оба эксперимента Belle и BaBar уже накопили один из самых больших наборов данных в физике частиц.

Т.Накада (T.Nakada, CERN/EPFL Lausanne, Switzerland) рассказал о ходе подготовки установки LHCb и планируемых на ней исследованиях нарушения CP-симметрии, изучения редких распадов различных адронов, содержащих b-кварк и поиска проявлений новой физики. В связи со значительным увеличением светимости и улучшением других важных характеристик Тэватрона стало возможным проводить на нем исследования актуальной области В-физики. Этому посвящен новый эксперимент BTeV (доклад S.Bianco, Frascati, Italy), программа исследований которого близка к программе LHC. Предполагается, что установка BTeV начнет работу в 2009 году.

Вечерняя рабочая сессия по В-физике включала следующие выступления. Последние результаты по физике b-кварка с Тэватрона (C.Blocker, Brandeis University, USA). Исследование B_d и B_s смешивания на LHCb (B.Carron, Lausanne, Switzerland). Возможности LHCb для определения CP-параметра гамма из распада $B_s \rightarrow D_s^* K$ (E.Rodrigues, CERN). Чувствительность LHCb к параметру гамма в распаде $B \rightarrow hh$ и U-спин (L.Fabbri, Bologna, Italy) и распаде $B_0 \rightarrow D_0 K^*$ (S.Amato, Rio de Janeiro, Brazil). Перспективы

изучения В-физики с помощью детекторов ATLAS и CMS (V.Ghete, Innsbruck, Austria). Редкие распады с LHCb (I.Belyaev, LAPP Annecy, France / ITEP Moscow, RU). *Заметим, что почти все русские на эту конференцию приехали не из России, они хорошо и уверенно говорят по-английски.*

Утомительный третий день конференции наконец-то закончился - прекрасной часовой видео-лекцией "Vienna, Time after Time: Building and Culture through the Centuries" R.Gadsden (Univ. of Applied Arts, Vienna).

Под знаком проверки Стандартной модели

Четвертый день прошел под знаком проверки Стандартной модели и обсуждения возможных ее расширений (за исключением SUSY). Общее состояние дел с проверкой Стандартной модели участники конференции узнали от Пола Лангакера (P.Langacker, Pennsylvania). От него я впервые услышал, что Новой Стандартной моделью называется старая ее версия, дополненная ненулевыми значениями масс нейтрино. Прецизионные измерения слабых процессов по каналу заряженных и нейтральных токов на LEP и SLC, физика бозонов Хиггса, тяжелые кварки и их распады, нейтрино, нарушающие сохранения флейвора нейтральные токи и электрический дипольный момент (аномальный магнитный момент лептонов), космология и астрофизика - в этих областях была подвергнута проверке СМ. Несмотря на то, что почти везде СМ устояла и пока еще хорошо описывает наблюдаемые, всем уже известные теоретические проблемы, ряд чисто экспериментальных указаний все больше и больше подтачивают корни нашей СМ и требуют новых, более изощренных моделей и подходов. Среди них струны, SUSY, новые нейтральные токи, некоторая экзотика, достигающая нас из области очень высоких, почти планковских масштабов, большие дополнительные размерности, композитность и т.п.

Конкретные возможности и перспективы исследования таких СМ процессов и явлений, как распределения партонов, КХД константы связи и КХД-струи, электрослабая физика W- и Z-бозонов, трех-бозонные константы связи, физика топ-кварка были подробно рассмотрены в выступлении Й.Мниха из Аахена (J.Mnich, Germany). Так, на LHC даже в режиме низкой светимости будет рождаться примерно 200 W-бозонов, 50 Z-бозонов и одна топ-анти топ пара в секунду. При этом предполагается измерение масс калибровочных бозонов с абсолютной точностью не более 15 МэВ. LHC - фабрика топ-кварков. В целом, исследование СМ-физики на LHC крайне важно особенно на начальной стадии работы ускорителя, поскольку эти процессы позволяют исследовать возможности детекторов, проверить и модифицировать генераторы за счет уточнения знания функций распределения партонов в новой кинематической области, что позволит быть готовым к надежной регистрации новых явлений.

В докладе Джозефа Лыккена (J.Lykken, FNAL, USA) подробно обсуждались возможности наблюдения различных проявлений моделей дополнительных размерностей. Наряду с SUSY эти модели дополнительных размерностей (ED) в настоящее время являются основными путями выхода за рамки СМ. Как SUSY, так и ED предсказывают эффекты новой физики как раз на тэвном масштабе энергий, исследование которого и будет проводиться на LHC. Замечательно то, что с теоретической точки зрения обе эти концепции взаимосвязаны и скорее всего взаимно необходимы. У концепции ED имеются две главные трудности - слишком много различных моделей реализации идеи ED, но при этом ни одна из них не может считаться хорошей. Тем не менее в настоящее время рассматриваются три класса "благоприятных" для LHC ED-моделей. Это модели универсальных дополнительных размерностей (UED) по существу, основанные на КК-подходе (Калуца-Клейна), ADD модели больших дополнительных размерностей и RS (Randall-Sundrum) модели, с только одной дополнительной размерностью (и одним брейном). Если реализуется ADD-идея, то коллайдеры чувствительны к проявлениям виртуальных и реальных массивных КК-гравитонов, которые будут проявляться в виде гладкого превышения сигнала над ожиданиями СМ. Характерные экспериментальные проявления RS-моделей - это резонансы в спектре димьюонов разного знака и т.п.

Привлекательность ED-концепции заключается в том, что она позволяет разрешить ряд важных проблем, в том числе определить характер электрослабого нарушения симметрии, объяснить наличие темной материи и малости масс нейтрино, понизить эффективный планковский и струнный масштабы, дать объяснение нарушения SUSY и подавления FCNC-переходов в СМ, улучшить объединение калибровочных констант связи и, вероятно, решить проблему темной энергии.

Очень интересная возможность обусловлена протяженной структурой струнных объектов. Поскольку число возбуждений струны растет очень быстро с ростом энергии, то возможно образование в жестком pp -столкновении отдельной очень сильно возбужденной струны, так называемого струнного шара. С ростом энергии струнные шары могут коллапсировать в черные дыры. Это канал рождения черных дыр на коллайдере. К сожалению, или, скорее, к счастью, энергия LHC еще недостаточно велика для формирования именно таких черных дыр. Однако если на LHC будут обнаружены КК-гравитоны, то преграды на пути финансирования поиска черных дыр на ускорителях могут и не устоять. Исследования физики дополнительных размерностей пока еще не достигло уровня тщательности проработки SUSY. Проблема в отсутствии подходящих рабочих моделей; нет генераторов событий, нет реперных точек для анализа. Этот процесс находится пока в самой начальной стадии, но движение уже заметно.

Весьма полный обзор современных результатов экспериментального поиска проявлений физики за рамками SM, в том числе и дополнительных размерностей был изложен в докладе Марии Спиропулу (M.Spiropulu, CERN).

На вечерней рабочей сессии по физике за рамками SM было также немало выступлений. К.Ксаки (C.Csaki, Cornell University, USA) предложил (очередной) вариант нарушения электрослабой симметрии без бозонов Хиггса, который проверяется экспериментально на LHC. С.Басс (S.Bass, Innsbruck, Austria) развил подход к нарушению закона сохранения барионного заряда за счет некоего топологического конденсата. Д.Доминичи (D.Dominici, Florence, Italy) рассмотрел возможность "регистрации" на LHC невидимого бозона Хиггса, возникающего в моделях дополнительных размерностей ADD-типа. К.Коллард (C.Collard, France) на базе полного моделирования CMS детектора и процедуры реконструкции событий исследовал возможность регистрации гравитона из RS-модели дополнительных размерностей путем поиска электрон-позитронной пары очень больших энергий, на которую, собственно, этот гравитон и распадается. Попытки коллаборации ATLAS оценить возможность поиска проявлений ED-эффектов (рождение грави-скаляра, изменение в стратегии поиска бозонов Хиггса за счет их возможного совместного рождения со скалярными частицами, образование и распады черных дыр) обсуждались в выступлении Ф.Броху (F.Brochu, University of Cambridge, UK). В.Валуев (V.Valuev, Los Angeles, USA) исследовал "детектируемость" дополнительного Z-бозона на установке CMS путем регистрации его распада на два мюона. Процедура обнаружения лептокварков с помощью детектора ATLAS изучена В.Митсоу (V.Mitsou, Valencia). Предполагается, что исследованию будет доступна область масс лептокварков вплоть до 1.5 ТэВ. К.Алекса (C.Alexa, CERN) изложил концепцию поиска на установке ATLAS таких, например, тяжелых лептонов, какими являются возбужденные состояния электрона, допустимые в различных композиционных моделях. Перспективы измерения трехбозонных вершин взаимодействия на CMS изучены А.Ох'ом (CERN).

Физика SM в рамках КХД и дифракционные процессы обсуждалась на вечерней параллельной сессии. Сначала М.Зелински (M.Zielinski, Rochester, USA) сделал обзорный доклад про статус КХД исследований на Тэватроне.

До наступления эры ускорителей сверхвысоких энергий высокоэнергетические адрон-адронные процессы успешно описывались в КХД за счет жестких инклюзивных столкновений двух партонов; при этом достаточно было знать всего лишь партонные продольные функции распределения, такими примерно словами начал свой доклад Марк Стрикман, ныне американец (Pennsylvania Univ., USA). Новая эра Тэватрона и LHC уже требует знания поперечного распределения партонов, зависящего от кинематических переменных x и Q^2 , что необходимо, например, для построения реалистического описания глобальной структуры конечных состояний при pp -столкновениях на LHC. Источником такого знания стали жесткие процессы дифракции, исследуемые ныне на HERA и Тэватроне. Инклюзивная жесткая дифракция позволяет понять характер флуктуаций цветового заряда и исследовать структуру нуклонов на периферии. По этой причине исследование процессов дифракции на LHC позволит получить уникальную информацию для понимания КХД-динамики в режиме сильной концентрации глюонных полей, и даст возможность наблюдать новые явления, чувствительные именно к трехмерной структуре нуклона. Обсуждая характер взаимодействия протонов и ядер при увеличении энергии, М.Стрикман обратил внимание на новую тенденцию в поведении множественностей - примерно вдвое, по сравнению с ожиданиями, они увеличились уже на RHIC, и такая тенденция, по его словам, должна совершенно явно проявиться на LHC. Скорее всего, это связано с переходом от одного,

единственного и все определяющего жесткого процесса к протеканию уже нескольких жестких процессов практически одновременно. Правильное описание данной ситуации необходимо, по крайней мере, для корректного определения фона при изучении эффектов новой физики.

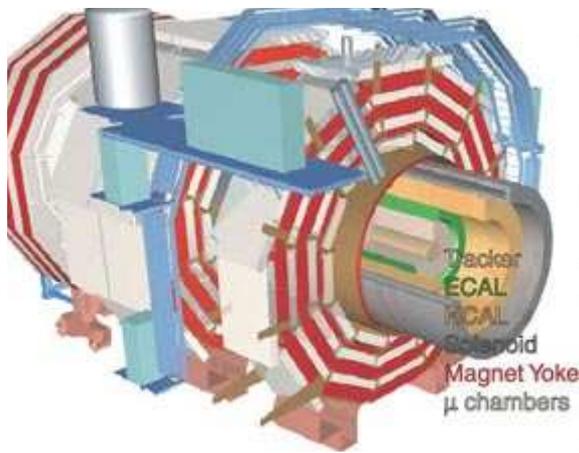
Ультрапериферические столкновения на LHC дают возможность исследования фотон-фотонных и фотон-ядерных процессов при очень высоких энергиях и больших светимостях. Регистрация (таггирование) начальных протонов или ядер позволяет изучать электрослабые процессы образования и распада мезонов, процессы одновременного рождения двух векторных мезонов, вести поиск проявления новой физики. В фотон-ядерных процессах дополнительно можно исследовать когерентное рождение векторных мезонов, механизм фотон-глюонного слияния, глюонные и кварковые функции распределения в ядрах и т.п. Как заметил докладчик, К. Hencken (Basel, Switzerland) -- эти события совершенно точно будут иметь место и не надо их просто так выбрасывать.

Ф. Ферро (F. Ferro, Genova, Italy) рассказал об эксперименте TOTEM на LHC, который нацелен на измерение полного протон-протонного сечения при энергии 14 TeV с 1-процентной точностью, на определение упругого сечения в области малых передач и на исследование различных дифракционных процессов. Метод измерения основан на применении оптической теоремы и практически не зависит от светимости.

Возможность исследования на LHC процессов образования бозонов Хиггса дифракционным образом, когда осуществляется таггирование протонов, вылетающих под нулевыми углами, рассмотрел А. Мартин (A. Martin, Durham, UK). Обсуждению конечного состояния адрон-адронных столкновений, содержащего большое число частиц, был посвящен доклад С. Шумана (S. Schumann, Dresden, Germany). Он привел результаты расчета конечных состояний, которые обусловлены множественной жесткой эмиссией частиц под большими углами, включая адронизацию и случаи значительного перекрытия струй. Заключительное выступление на этой секции было сделано Л. Франкфуртом (L. Frankfurt, Tel Aviv, Israel) на предмет методов выделения процессов центрального столкновения протонов, их особой важности, и дан анализ их конечных состояний.

Дальнейшее обсуждение CM сконцентрировалось на топ-кварка. М. Зелинский представил обзор (автор I. Fleck, Freiburg, Germany) достижений CDF и D0 по физике топ-кварка. На Тэватроне оба эксперимента наблюдают образование топ-анти топ пары, однако значения сечения заметно зависят как от метода регистрации этой пары, так и от детектора. Использование двухлептонного канала дает значение сечения образования пары на D0 равное 14,3 pb, а на CDF, соответственно, 7,0 pb. В целом, значения сечений, полученные D0, систематически выше значений CDF. D0 коллаборация провела новый анализ, в результате которого их значение массы топ-кварка достигло $180.1 \text{ ГэВ}/c^2$, что, в свою очередь, сместило среднее мировое значение массы (RUN I) с 174.3 на $178.0 \text{ ГэВ}/c^2$. Это привело к увеличению среднего значения ожидаемой массы бозона Хиггса до $125 \text{ ГэВ}/c^2$, и теперь оно лежит в области, которую нельзя исключить результатами прямого поиска на LEP. На Тэватроне сделана оценка спиральности W-бозона, измеренная продольная компонента соответствует предсказанию CM.

Программа уже будущих исследований по физике t-кварка на установке ATLAS была изложена в докладе Э. Монэ (E. Monnier, Marseille, France). Интерес к изучению топ-кварка на LHC очевиден - масса t-кварка, самой тяжелой из известных элементарных частиц, несомненно является фундаментальным параметром и подлежит максимально точному определению (1 ГэВ). Время жизни топ-кварка настолько мало, что он, единственная (пока) из элементарных частиц, распадающаяся прежде, чем адронизуется (то есть пока не обнаружены адроны, содержащие связанные топ-кварки). Поскольку LHC - фабрика по производству этих самых топ-кварков, и поэтому будет набрано их очень большое число, то имеется возможность детального изучения всех свойств t-кварков (константы из связи с бозонами Хиггса, спин, электрический заряд, возможность распадов с CP-нарушением и т.п.). Исследование процессов с t-кварками необходимо еще и по той причине, что оно даст первые физические результаты после начала работы коллайдера LHC, а затем эти процессы будут фоновыми при поиске эффектов новой физики, SUSY-частиц и т.п. Понимание свойств и характеристик рождения и распада топ-кварков будет лежать в основе надежного способа тестирования и калибровки детекторов. Главными процессами образования топ-анти топ пар на LHC будут глюон-глюон (90%) и кварк-анти-кварк (10%) аннигиляция. Распад этой пары будет идти по двухлептонному каналу (5%), полулептонному (30%), адронному (45%) и с инклюзивным образованием тау-лептона (20%). Как и на Тэватроне, по всем этим каналам распада



будет определяться масса топ-кварка. Предполагается также искать резонансные состояния типа SUSY-бозонов Хиггса, которые могли бы распадаться на топ-анти топ пару. Представляют интерес также слабые процессы одиночного рождения t-кварков. Они дают возможность независимого исследования характеристик топ-кварка, а также некоторых слабых нейтральных процессов, идущих с нарушением закона сохранения флейвора (FCNC). Аналогичная программа исследований свойств t-кварка на установке CMS была представлена С.Слабоспицким (S.Slabospitsky, Protvino, Russia).

О "главных вопросах" физики частиц

В последний, пятый день, конференции было всего несколько выступлений обзорного характера. Первым Михаэл Тернер (M.Turner, ассистент-директор NSF, Arlington, USA) сделал прекрасный доклад ("The Big Questions, Accelerators, Telescopes, the LHC and the Future") о главных вопросах современной физики частиц, о связи ускорителей и неускорителей-телескопов, о значении LHC и дальнейшем стратегическом развитии физики частиц. Он уверен, что у физики элементарных частиц имеется нечто, что нельзя купить не за какие деньги - великолепная возможность глубочайших открытий как минимум в течение ближайших 50 лет. Это "Квантовая Вселенная" - ее задача определить на базе представлений квантовой физики элементарных частиц, из чего создана Вселенная и как она "работает". По его мнению, для решения этой грандиозной задачи всем необходимо работать вместе - физикам и астрономам, решающим свои задачи с помощью ускорителей и телескопов и т.п. Потенциал открытий LHC (в том числе и чисто астрофизического значения) очень велик. Это темная материя - необходимо уметь "производить" ее на ускорителе. Это проверка концепции инфляции - необходимо обнаружить фундаментальные скалярные частицы. Это проверка механизма ускорения Вселенной и доказательство существования суперсимметрии. Это определение природы пространства-времени и открытие дополнительных размерностей. Поэтому, считает М. Тернер, эксперименты на LHC "обречены" быть успешными.

Далее он остановился на проблеме ускоренного расширения Вселенной, которое было обнаружено в 1998 г. из анализа зависимости светимости Сверхновых от красного смещения. Он обсуждал результаты измерения характеристического спектра анизотропии микроволнового излучения, полученные WMAP. Эти данные подтверждают наличие темной материи и темной энергии, на долю которой "списывается" весь недостаток плотности вещества-энергии во Вселенной.

Действительно, WMAP говорит нам, что плотность Вселенной равна критической, на долю темной материи приходится 1/3 критической плотности, таким образом, весь недостаток (2/3 критической плотности) мы смело "списываем" на темную энергию. "Решение проблемы существования темной энергии требует совершенно новых сумасшедших идей", - говорит Тернер, замечая, однако, что не все сумасшедшие идеи подходят, поскольку основная масса их просто сумасшедшие... Один из вариантов состоит в том, чтобы принять идею полного отсутствия темной энергии и просто считать Вселенную "пустой" и подверженной ускоряющемуся расширению. Другой вариант - искать новую гравитационную физику. Одно ясно, что ускорение Вселенной - это глубочайшая мистерия современной науки.

М.Тернер производит впечатление сильного, проницательного, очень эрудированного и уверенного в себе человека. На мой "коварный" вопрос об уровне достоверности ускоренного расширения Вселенной он "дал" 4σ, прекрасно осознавая, что это всего лишь оценка статистической точности измерений. От него я узнал, что расширяющаяся ускоренно Вселенная и темная энергия - вообще говоря, вещи разные, одно - космологическая постоянная или что-то подобное, а другое - проявление геометрии и кинематики измерений, а связываются они только посредством теории относительности.

Второй выступала Фабиола Джанотти (F.Gianotti, CERN). Ее обзор касался первоочередных физических задач на LHC, решению которых будет посвящен первый год работы ускорителя. Обсуждалась последовательность запуска ускорителя: какие детекторы, триггеры и характеристики установок будут использоваться на самом первом этапе, как будет осуществляться переход от создания ускорителя к

первым тестовым пучкам, от тестовых измерения с космическими лучами к первым штатным столкновениям ускоренных протонов. Рассмотрено несколько примеров физических задач, решение которых можно осуществить на малой статистике в несколько обратных fb. В целом, потенциал LHC волне достаточен для обоснованного ожидания важных открытий уже в первые месяцы (первый год) работы LHC. Так, один день работы LHC по исследованию SM процессов при светимости 10^{33} см⁻²/сек "статистически" равен 10 годам работы ускорителей предыдущего поколения. Суперсимметрия, точнее, SUSY-подобные события, будет обнаружена достаточно быстро, более сложно обнаружить легкий бозон Хиггса.

Интересно также, не будут ли преподнесены какие либо приятные сюрпризы? Наиболее критичным в первые годы работы ускорителя будет вопрос о стабильности работы и светимости. Состояния детекторов ATLAS и CMS позволят проводить нормальные измерения, хотя на момент старта ускорителя характеристики детекторов будут далеки еще от оптимальных, поскольку ожидаются задержки с вводом их в строй. Еще предстоит затратить много сил и времени на наладку детекторов и триггеров на пучке, надо в первую очередь исследовать "хорошо известную" физику Стандартной модели и сравнить ее с предсказаниями Монте-Карло моделирования и т. п. Ф.Джанотти - типичный пример деловой женщины, число которых заметно увеличилось в ряду менеджеров от физики, руководителей экспериментов, докладчиков и т.п. Она держится уверенно, материал излагает не по-женски ровно, без лишних эмоций и патетики. Прекрасно понимает, что обнаружение SUSY - это нелегкий процесс, когда требуется когерентное наблюдение аномальных пиков в ряде различных распределений и т.п. Регистрация же аномальных SUSY-подобных событий-претендентов - дело, по-видимому, первого года измерений на LHC. В самом конце она дала общую стратегию исследований на первом году работы LHC, главное: это калибровки детекторов по SM процессам, проверки правильности моделирования и т.п. О программе исследований первого года работы LHC в области дифракционной физики более подробно рассказал Марио Дили (M.Deile, CERN).

В следующем обзорном докладе А.Блондел (A.Blondel, Geneva) обсуждал другие важные эксперименты ускорительного типа в современной физике частиц, проведение которых будет осуществляться уже не на LHC. В основе всех этих программ лежит необходимость создания протонного источника сверхвысоких интенсивностей (SPL - сверхпроводящий протонный линак). Эта область включает в себя в первую очередь физические программы нейтринных фабрик с учетом так называемых бета-пучков и низкоэнергетических супер-пучков на базе SPL, исследования нейтринных осцилляций, физику каонов, исследования взаимодействий нейтрино при максимально доступных ускорительных энергиях, исследования на мюонных коллайдерах и фабриках бозонов Хиггса.

Заключительный доклад под названием "Революции и Открытия" сделал Крис Куигг (Ch.Quigg, FNAL, USA). Из этого, по существу, историко-философского эссе недвусмысленно следует, что, к примеру, поиск бозона Хиггса, то есть объяснение механизма нарушения электрослабой симметрии, является ключевым и абсолютно необходимым звеном в понимании того, почему Мир устроен именно так, как он устроен. А это уже один из самых главных вопросов, волновавших умы людей во все времена. И в этой связи заставляет сердца наполняться гордостью то, что решение данной проблемы лежит в русле развития современной физики элементарных частиц. Более того, с помощью LHC мы непосредственно приближаемся к одному из его возможных решений. Нарушение электрослабой симметрии осуществляется путем нового фундаментального взаимодействия, масштаб энергии которого составляет несколько сотен ГэВ, и это взаимодействие должно быть открыто на LHC. В середине этого дня Г.В.Мицельмахер и И.Хрубек, организаторы венской версии 2004 года "Physics at LHC", торжественно закрыли конференцию, поблагодарив участников и отправив их в послеобеденную и прощальную экскурсию по Вене.

Итак, наконец, приходит удовлетворение от честно выполненного долга. Вот и награда - утренний, почти недельной давности, приезд в Вену сопровождался дождем, было сумрачно, 19°C, такси от Восточного вокзала с турком за рулем куда-то меня долго сквозь пробки на дороге неспешно везло. И привезло в отель, где ключи только после 12-00 и т.д. и т.п. Отъезд же из Вены, наоборот, полон солнцем, ярко и жарко, 26°C, за рулем такси уже белобрысый улыбчивый австриец арийского на вид происхождения (хотя ведь тоже взял 10 евро!). Еду домой, правда, пока через Германию.