

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ П.13.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ, ВКЛЮЧАЯ ФИЗИКУ НЕЙТРИНО И АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ И КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, А ТАКЖЕ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА, ФИЗИКИ УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ДЕТЕКТОРОВ, СОЗДАНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕЙТРОНОВ, МЮОНОВ, СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНОЛОГИЯХ И МЕДИЦИНЕ

Программа П.13.1. Физика элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий (координатор акад. А. Н. Скринский)

Научными работниками Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН в составе коллаборации ATLAS на Большом адронном коллайдере (ЦЕРН, Швейцария) впервые наблюдался бозон Хиггса. Последние эксперименты в ЦЕРНе на детекторе ATLAS (рис. 46) показали, что бозон Хиггса исключен в интервале масс 111—559 ГэВ, кроме области 122—131 ГэВ, где и наблюдается резонансное рождение нового бозона в каналах $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$ с суммарной статистической значимостью около шести стандартных отклонений (6σ). Данные результаты свидетельствуют об открытии новой частицы с массой $126,0 \pm 0,4$ (стат.) $\pm 0,4$ (сист.) ГэВ.

В поисках процессов, выходящих за рамки Стандартной Модели электрослабых взаимодействий, важную роль имеют измерения параметров так называемого треугольника унитарности в распадах В-мезонов. Одним из наиболее слабо измеренных параметров является угол ϕ_3 (также обозначаемый γ), который проявляется в распадах В-мезона на нейтральный D-мезон и каон. При непосредственном участии ИЯФ СО РАН был разработан и впервые реализован в экспериментах Belle и LHCb метод измерения угла ϕ_3 , который имеет на сегодняшний момент наилучшую статистическую точность и не содержит принципиальных теоретических неопределенностей, что позволит использовать его в будущих прецизионных измерениях на супер-В-фабрике и модернизированном детекторе LHCb.

В июне 2012 г. на пучке в ЦЕРН (Швейцария) был проведен эксперимент по измере-

нию угла черенковского излучения в фокусирующем аэрогеле, произведенном в Новосибирске (рис. 47, а). Впервые для измерения координат черенковских фотонов использовались цифровые кремниевые фотоумножители, разработанные фирмой Philips. Измерено распределение черенковских фотонов по углу (рис. 47, б). Расчет, произведенный на основе этих данных, показывает, что при импульсах до 1,3 ГэВ/с уровень разделения мюонов и пионов превышает 3σ . Таких результатов не было получено ранее в экспериментах на встречных электрон-позитронных пучках в области энергий ипсилон-мезонов и пси-мезонов. Эксперимент был проведен совместно ИЯФ СО РАН, ИК СО РАН, ИЯИ РАН, Philips.

В ИЯФ СО РАН точно по величине атомного поля найдена зарядовая асимметрия в процессе рождения электрон-позитронных пар

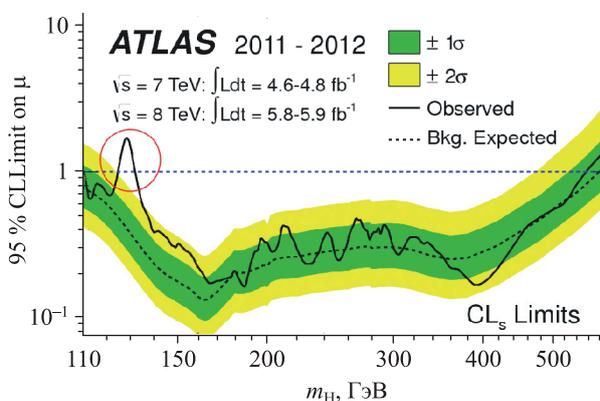


Рис. 46. Суммарное ограничение на величину сигнала рождения бозона Хиггса на уровне достоверности 95 %.

фотоном высокой энергии в поле тяжелого атома (рис. 48). Зарядовая асимметрия в рождении электрон-позитронной пары фотоном высокой энергии в сильном атомном поле является одним из главных фоновых процессов при проверке стандартной модели физики эле-

ментарных частиц. Ранее проведенные вычисления вероятностей рождения пар не обладали точностью, необходимой для количественного предсказания зарядовой асимметрии. В работе впервые получено количественное описание этого процесса.

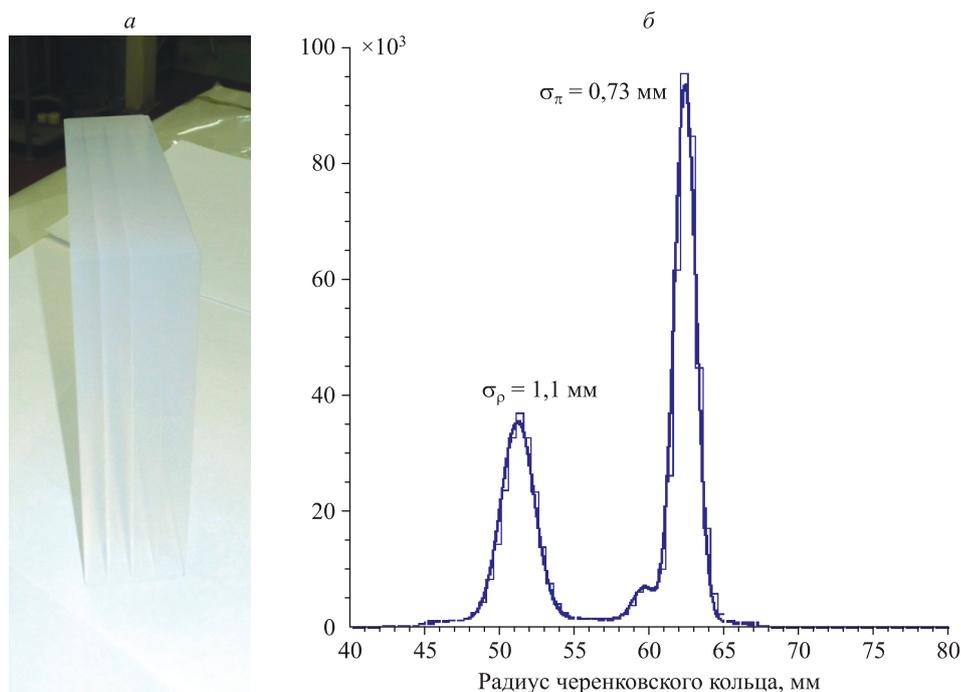


Рис. 47. 4-слойный фокусирующий аэрогелевый блок (а) и распределение по измеренному радиусу черенковского кольца для пионов и протонов (б).

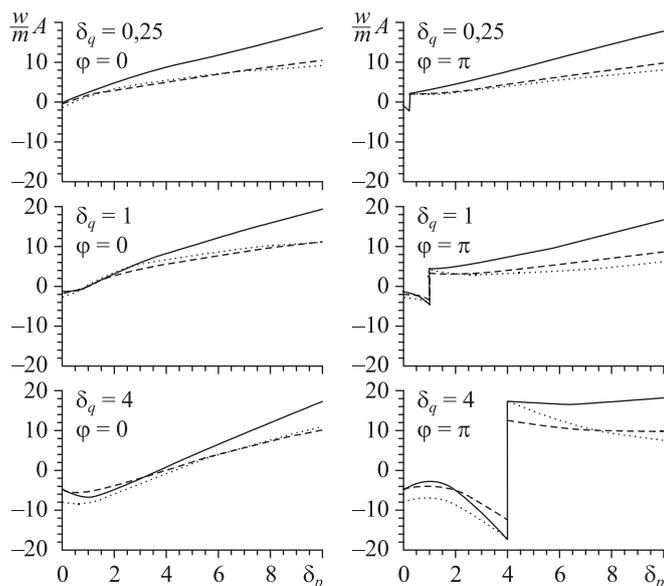


Рис. 48. Зависимость зарядовой асимметрии A (в единицах отношения массы электрона к частоте фотона) от поперечного импульса электрона δ_p (в единицах массы электрона) для нескольких значений поперечного импульса позитрона δ_q , азимутального угла φ и доли энергии электрона $x = \epsilon p / \omega$: $x = 0,25$ (сплошная кривая), $x = 0,5$ (штриховая кривая) и $x = 0,75$ (пунктирная кривая), элемент вольфрам.

Программа П.13.2. Современные проблемы физики атомного ядра (координатор докт. физ.-мат. наук В. Ф. Дмитриев)

На установке ДЕЙТРОН накопителя ВЭПП-3 в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера завершен эксперимент по прецизионному измерению R -отношения сечений упругого рассеяния позитронов/электронов на протоне (рис. 49). Предварительный анализ данных показывает, что достигнутый результат намного превышает по точности известные мировые данные, а вклад двухфотонного обмена в упругое электрон-позитронное рассеяние достаточно велик. В результате известное противоречие в измерениях форм факторов протона различными методиками, возможно, будет устранено, так как учет вклада двухфотонного обмена во многом снимает эти противоречия.



Рис. 49. Аппаратура эксперимента по упругому рассеянию электронов и позитронов на протоне: детекторы частиц и внутренняя газовая мишень, установленные на накопителе ВЭПП-3.

Программа П.13.3. Физика и техника ускорителей заряженных частиц (координатор член-корр. РАН. В. В. Пархомчук)

В 2012 г. в ИЯФ СО РАН проведен уникальный эксперимент по рассеянию лазерного излучения на ультрарелятивистском электронном пучке в поворотном магните коллайдера ВЭПП-2000. Лазерное излучение с энергией фотонов 0,117 эВ рассеивается на электронах с

энергией 990 МэВ и радиусом траектории 140 см. В энергетическом спектре рассеянных гамма-квантов наблюдается интерференция рассеянного излучения с энергией 1,6—1,8 МэВ (рис. 50). Сущность явления заключается в интерференции электромагнитного излучения с

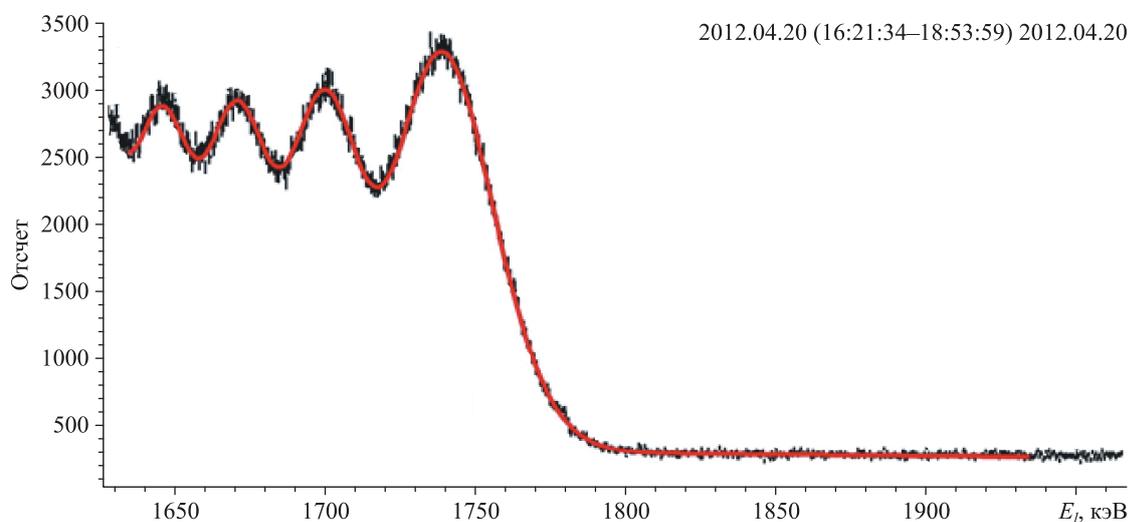


Рис. 50. Энергетический спектр рассеянных фотонов: сравнение экспериментальных данных (гистограмма) с теоретическим расчетом (красная линия).

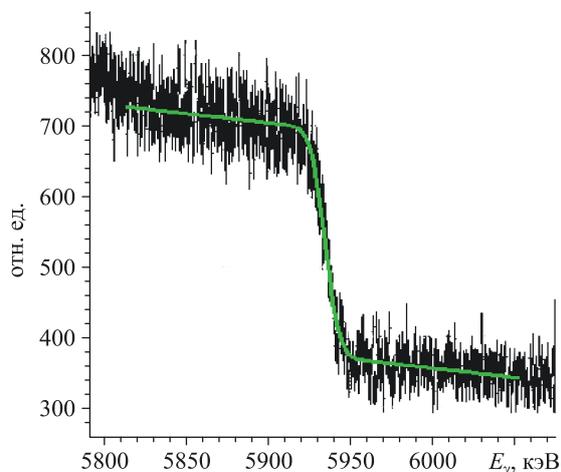


Рис. 51. Край комптоновского спектра, набранный на пучке позитронов. Измеренная энергия пучка $1843,828 \pm 0,048$ МэВ.

длиной волны порядка фемтометра. Таким образом, впервые экспериментально наблюдалось влияние магнитного поля на кинематику комптоновского рассеяния. Практическая зна-

чимость результата заключается в уникальной возможности одновременного высокоточного измерения средней энергии электронов и магнитного поля непосредственно на траектории пучка.

При определяющем участии ИЯФ СО РАН на коллайдере ВЕРС-II (Китай) создана уникальная система измерения энергии электронного и позитронного пучков с помощью обратного комптоновского рассеяния. Было продемонстрировано, что система позволяет измерить энергию пучков с относительной точностью 2×10^{-5} , что в свою очередь дает возможность измерить массу тау-лептона с рекордной точностью 50 кэВ (рис. 51).

В ИЯФ СО РАН разработан, создан и поставлен в Брукхейвенскую Национальную лабораторию (Нью-Йорк, США) бустерный синхротрон периметром 158 м, ускоряющий пучки электронов от 200 МэВ до 3 ГэВ с рекордно высокой для такого класса установок проектной интенсивностью пучка (рис. 52).

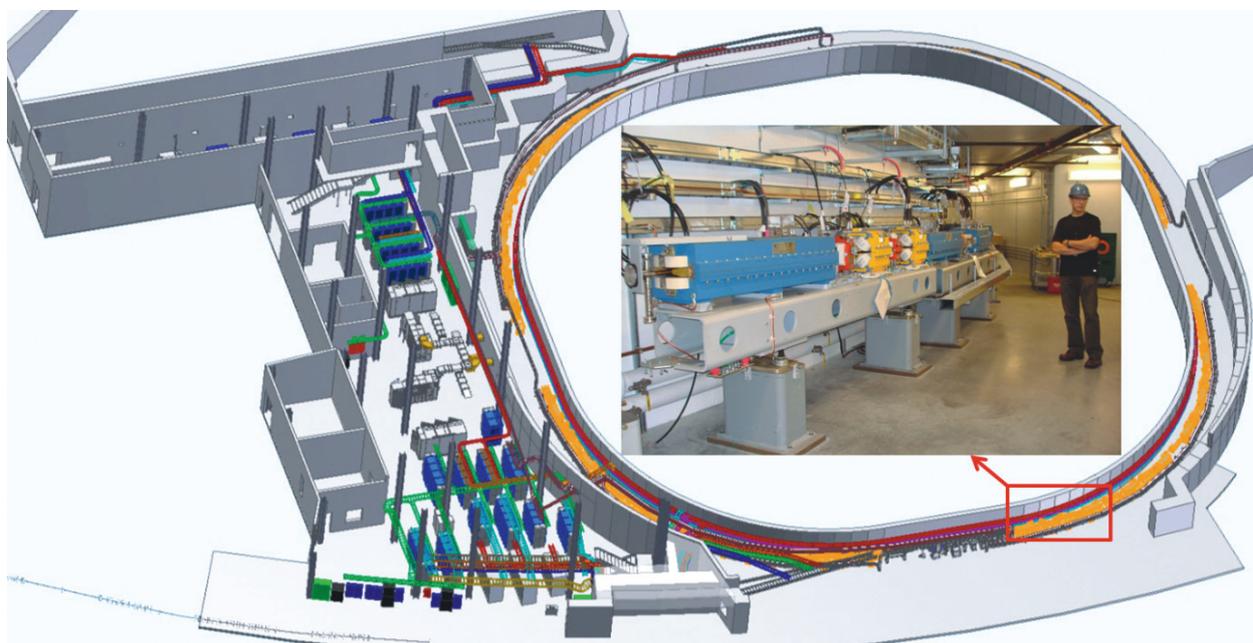


Рис. 52. Бустерный синхротрон с энергией 3 ГэВ в Брукхейвенской Национальной лаборатории (США).

Программа П.13.4. Физика и техника источников синхротронного излучения и лазеров на свободных электронах (координатор акад. Г. Н. Кулипанов)

В Сибирском центре синхротронного и терагерцевого излучения (ИЯФ СО РАН) построен и запущен первый в мире четырехдорожечный ускоритель-рекуператор (рис. 53). Данная установка доказывает работоспособность нового класса установок — многодорожечных ускорителей-рекуператоров. Такие ускорители могут использоваться для генерации субпикосекундных импульсов рентгеновского излучения высокой яркости с частотой повторения десятки мегагерц. Сверхкороткие рентгеновские импульсы используются для изучения быстропротекающих процессов — химических реакций, фазовых переходов и т. д. Другое перспективное применение этого класса ускорителей — ядерно-физические эксперименты с внутренней мишенью.

В ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН разработана уникальная методика ультрабыстрых спектральных измерений высокого разрешения в терагерцевом диапазоне (рис. 54). Впервые проведены прямые измерения временной зависимости узкополосного терагерцевого излучения молекул, возбужденных мощным и относительно коротким импульсом излучения лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Принципиальным отличием методики является очень короткое время измерения спектра, причем эти измерения проводятся в реальном времени и имеют высокое спектральное разрешение (10^{-4} для времени измерения спектра 3 нс, 10^{-5} для 30 нс). Эти особенности позволяют проводить уникальные спектральные измерения очень быстрых и неповторяющихся явлений.



Рис. 53. Ускорительный зал с размещенным на потолке ускорителем-рекуператором.

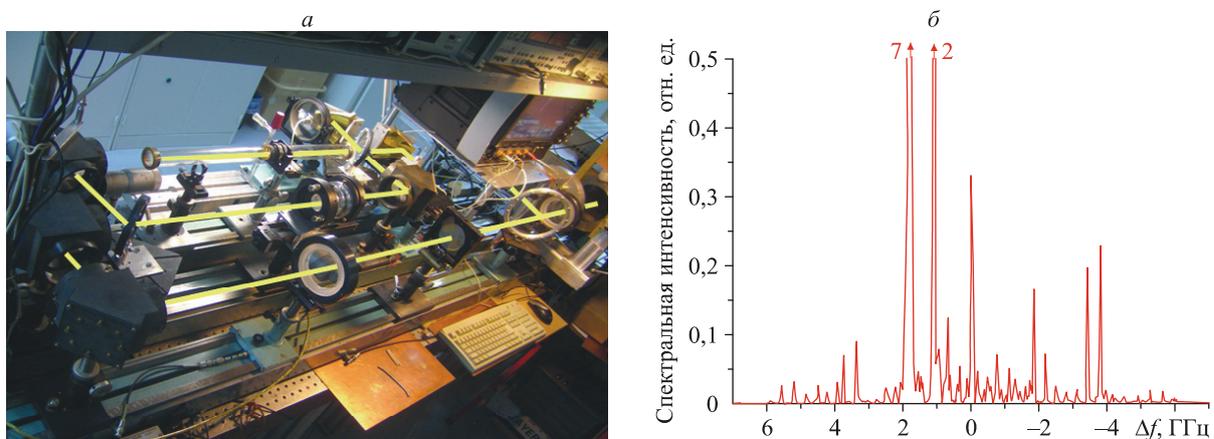


Рис. 54. Общий вид спектрометра (*a*) и терагерцевый участок спектра молекулы метанола (CH₃OH), измеренный за время 30 нс со спектральным разрешением 10⁻⁵ (*б*). Нуль частоты равен 2,12 ТГц.