

# ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ

Научная деятельность ЛФЧ в 2007 г. была сконцентрирована на проведении текущих и подготовке новых экспериментов в области физики элементар-

ных частиц, а также на разработке и исследовании детекторов частиц и различных ускорительных систем.

## ТЕКУЩИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В 2007 г. в эксперименте **COMPASS** продолжался набор экспериментальных данных на мюонном пучке с использованием продольно- и поперечно-поляризованных дейтериевых мишеней. Во время набора данных группа ОИЯИ выполняла техническую поддержку так называемого RICH WALL — трекового детектора, расположенного позади RICH, а также адронного калориметра HCAL1. Продолжался анализ данных, набранных в 2002–2006 гг. Ряд важных физических результатов был получен, представлен на различных международных конференциях (15 докладов сделано физиками ОИЯИ) и опубликован.

Группа ОИЯИ принимала участие в подготовке физической программы и проведении научно-исследовательских работ для нового эксперимента (COMPASS-II). Целью этого эксперимента (начало набора данных — в 2011 г.) будет измерение обобщенных партонных распределений (ОПР) [1] через изучение различных эксклюзивных процессов, а также измерение поперечных распределений через исследования процессов Дрелла–Яна. Состояние анализа экспериментальных данных коллаборации COMPASS в 2007 г. отражено в 11 внутренних сообщениях, четыре из которых подготовлены с участием физиков ОИЯИ. Основные результаты анализа данных в 2007 г. приведены ниже.

Впервые в эксперименте COMPASS была измерена разностная асимметрия  $A^{(h^+ - h^-)}$  в полуинклюзивных процессах (SIDIS) рождения адронов с противоположными зарядами [2]. Измерения были вы-

полнены на основе экспериментальных данных, набранных в 2002–2004 гг. на мюонном пучке с энергией 160 ГэВ с использованием длинной мишени  ${}^6\text{LiD}$ , в кинематической области  $0,006 < x < 0,7$  и  $1 < Q^2 < 100$  (ГэВ/с) $^2$ . Дейтронная асимметрия  $A^{(h^+ - h^-)}$  в лидирующем порядке КХД (LO) определяется через поляризацию валентных кварков и позволяет вычислить первый момент  $\Delta u_v + \Delta d_v$ , который оказался равен  $0,40 \pm 0,07$  (стат.)  $\pm 0,05$  (сист.) для всей доступной области по  $x$  и для  $Q^2 = 10$  (ГэВ/с) $^2$  (см. рис. 1, а). Этот результат и результат по первому моменту  $g_1^d$ , полученный ранее на основе этих же данных, указывает на несимметричную поляризацию легких кварков  $\Delta \bar{u} = -\Delta \bar{d}$  с уровнем достоверности в два стандартных отклонения, в отличие от часто предполагаемой симметрии  $\Delta \bar{u} = \Delta \bar{d} = \Delta s = \Delta \bar{s}$ .

Продольная спиновая асимметрия  $A_1^\rho$  в эксклюзивном процессе лепторождения  $\rho^0$ -мезонов,  $\mu + N \rightarrow \mu + N + \rho^0$ , была получена в эксперименте COMPASS на основе данных, набранных в 2002 и 2003 гг. [3]. Измерения были выполнены в процессах когерентного эксклюзивного рождения  $\rho^0$  на поляризованных дейтронах. Зависимость  $A_1^\rho$  от  $Q^2$  и  $x$  получена в широкой кинематической области,  $0,003 < Q^2 < 7$  (ГэВ/с) $^2$  и  $5 \cdot 10^{-5} < x < 0,05$  (см. рис. 2).

Представленные результаты впервые получены в области малых значений  $Q^2$  ( $Q^2 < 0,1$  (ГэВ/с) $^2$ ) и малых  $x$  ( $x < 3 \cdot 10^{-3}$ ). Асимметрия близка к нулю во всей кинематической области.

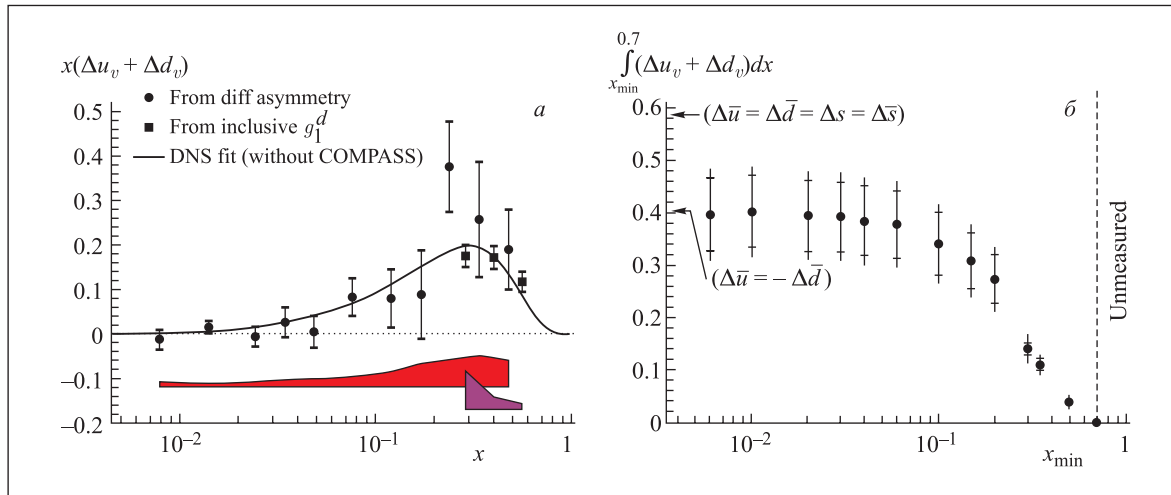


Рис. 1. *a*) Поляризованное валентное кварковое распределение  $x(\Delta u_v(x) + \Delta d_v(x))$ , приведенное к  $Q^2 = 10$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> в соответствии с DNS-параметризацией для LO [4]. Кривая — DNS-параметризация, которая не учитывает текущие результаты COMPASS. Три дополнительные точки в области больших значений  $x$  получены в рамках  $g_1^d$  анализа [2]; *б*) интеграл  $\Delta u_v(x) + \Delta d_v(x)$  для области  $0,006 < x < 0,7$  как функция нижнего предела интегрирования  $x_{\min}$ , приведенный к  $Q^2 = 10$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. SIDIS-данные использованы для интервала  $0,006 < x < 0,3$ , инклюзивные данные по  $g_1^d$  [2] — для интервала  $0,3 < x < 0,7$

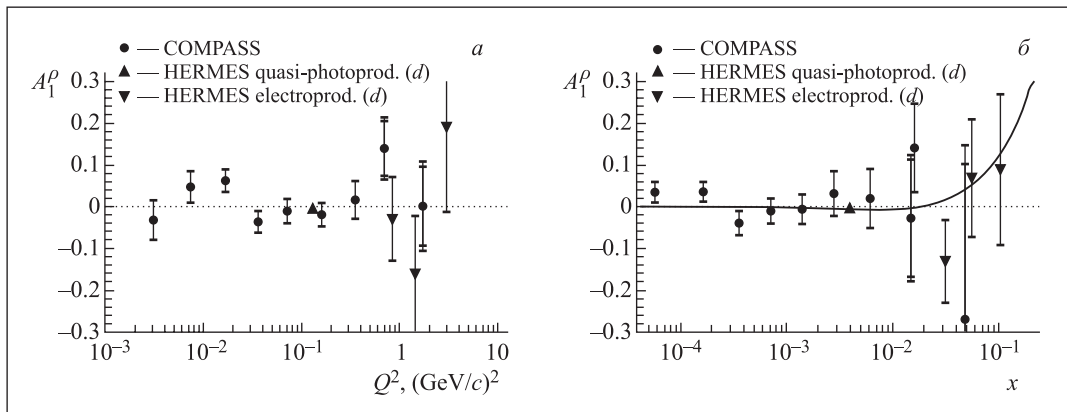


Рис. 2. Измеренные значения  $A_1^p$  как функции  $Q^2$  (*a*) и  $x$  (*б*) (кружки) и результаты коллаборации HERMES, полученные на дейтронной мишени (треугольники)

В 2007 г. коллаборацией COMPASS получены первые результаты по поляризации глюонов в нуклоне, основанные на выделении процесса фотон-глюонного слияния через рождение и распад очарованных мезонов [4]. Данные были набраны в 2002–2004 гг. Результат в LO:  $\langle \Delta g/g \rangle_x = -0,47 \pm 0,44$  (стат.)  $\pm 0,15$  (сист.) при  $\langle x \rangle \approx 0,11$  для значения  $\mu^2 \approx 13$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, рис. 3.

В 2007 г. группа физиков ЛФЧ принимала участие в наборе и анализе экспериментальных данных коллаборации HERMES, набранных в 1996–2000 гг. В конце июня был завершён набор данных. Начиная с 1997 г. до завершения набора данных группа физиков ЛФЧ выполняла техническую поддержку минидрейфовых камер DVC (Drift Vertex Chambers). В августе–сентябре DVC были демонтированы с экспериментальной установки HERMES. Основные усилия

группы ЛФЧ ОИЯИ по анализу были сфокусированы на изучении полуинклюзивных поляризованных данных, набранных в 1996–2000 гг., с целью извлечь поляризованные кварковые распределения и их моменты в следующем к лидирующему порядку КХД (NLO). Анализ основан на новом методе, который требует извлечения разностных и суммарных пионных асимметрий.

Основные результаты коллаборации HERMES, полученные в 2007 г., приведены ниже.

Эксклюзивное электророждение  $\pi^+$ -мезонов было изучено на спектрометре HERMES при рассеянии пучков позитронов с энергией 27,6 ГэВ и электронов на внутренней водородной мишени [5]. Сечения были измерены в зависимости от мандельштамовской переменной  $t$  и от квадрата четырехимпульса виртуального фотона  $-Q^2$ . Модель рас-

чета, основанная на обобщенных партонных распределениях, согласуется с данными для малых значений  $|t|$ , если учтены энергетические поправки. Модель расчета, основанная на редже-формализме, дает хорошее описание величины и  $t$ -,  $Q^2$ -зависимостей сечения.

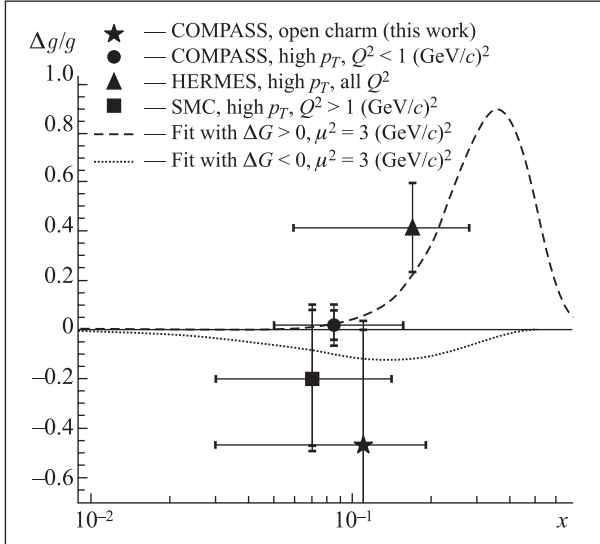


Рис. 3. Полный набор измеренных данных  $\langle \Delta g/g \rangle$  в процессах «открытого очарования» и адронных пар с большим поперечным импульсом  $p_T$  в экспериментах COMPASS, SMC и HERMES в зависимости от  $x$

В ходе эксперимента HERMES были выполнены измерения поперечной поляризации  $\Lambda$ - и анти- $\Lambda$ -гиперонов в процессах квазиреального фоторождения [6]. Поперечная поляризация  $\Lambda$ -гиперонов положительна, а анти- $\Lambda$ -гиперонов сравнима с нулем. Усредненные значения по всему кинематическому акцептансу эксперимента HERMES составили  $0,078 \pm 0,006$  (стат.)  $\pm 0,012$  (сист.) и  $-0,025 \pm 0,015$  (стат.)  $\pm 0,018$  (сист.) для  $\Lambda$ - и анти- $\Lambda$ -гиперонов соответственно.

Также были измерены множественности рождения адронов на ядрах  $A$ , приведенные к дейтрону  $R_A^h$ ; измерения были выполнены для различных типов адронов ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$ ,  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $p$  и анти- $p$ ) в зависимости от энергии виртуального фотона  $\nu$ , доли переданной энергии, уносимой адроном  $z$ , степени виртуальности  $Q^2$  и квадрата поперечного импульса адрона  $p_t^2$  [7].

Были выполнены измерения азимутальной пучковой спиновой асимметрии в процессах полуинклюзивных пионов в глубоконеупругом рассеянии позитронов на протонах [8].

Зависимость синусоидальной амплитуды этой асимметрии от угла  $\phi$ , плоскости рождения адрона относительно направления виртуального фотона была измерена для  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  и  $\pi^0$ -мезонов.

После завершения модернизации  $ep$ -коллайдера HERA в период с 2003 по 2007 г. в эксперименте Н1

были зарегистрированы данные в соударениях протонов с номинальной энергией 920 ГэВ и продольно-поляризованных электронов (позитронов) с энергией 27,6 ГэВ, соответствующие интегральной светимости 480 пб $^{-1}$ . Поляризация лептонного пучка позволила исследовать распределения партонов в протоне путем измерения асимметрий в реакциях и проверить предсказания Стандартной модели (СМ) в электро-слабом секторе. В 2007 г. в эксперименте Н1 были также измерены данные в пучке протонов с пониженными энергиями: промежуточной — 575 ГэВ и низкой — 460 ГэВ, с целью измерения продольной структурной функции протона FL в инклюзивных и дифракционных процессах глубоконеупругого  $ep$ -рассеяния (ГНР) в области малых значений масштабной переменной Бьёркена  $x$  и виртуальности фотона  $Q^2$ . Данные измерения были необходимы для завершения физической программы на коллайдере HERA, в основном посвященной изучению динамики систем партонов большой плотности, в которых доминирующую роль играют глюоны.

Сотрудники ОИЯИ, участвующие в эксперименте Н1, внесли значительный вклад в получение следующих физических результатов.

**Проверка КХД-факторизации в процессах дифракционного образования двухструйных событий в ГНР и фоторождении на коллайдере HERA [9].** Изучены процессы дифракционного рассеяния в позитрон-протонных взаимодействиях с образованием лидирующего протона (или диссоциативной системы с массой  $M_Y < 1,6$  ГэВ). Были выделены события, в которых наблюдался большой промежуток по скорости между системой лидирующего протона и адронным состоянием в детекторе Н1. События включали по крайней мере две струи адронов с поперечной энергией не менее 5 и 4 ГэВ соответственно. Анализ был проведен для двух кинематических областей по значению виртуальности фотона  $Q^2$ :

1) в области глубоконеупругого рассеяния (ГНР,  $4 < Q^2 < 80$  ГэВ $^2$ ), где фотон ведет себя как точечная частица без внутренней структуры;

2) в области фоторождения ( $Q^2 < 0,01$  ГэВ $^2$ ), где фотон может флуктуировать в адронное состояние, один партон из которого с долей импульса  $x_\gamma$  участвует в ГНР с образованием струй. В событиях с малым значением  $x_\gamma$  присутствует остаточная система фотона с большой энергией. Были измерены сечения образования двухструйных событий и проведено сравнение данных с предсказаниями КХД на основе дифракционных распределений партонов (ДРП) для синглета кварков и глюонов, полученных во втором порядке ТВ из анализа данных по инклюзивному дифракционному ГНР [10]. Расчеты по КХД описывают сечения образования струй в ГНР в пределах теоретических и экспериментальных погрешностей и таким образом подтверждают коллинеарную факторизацию в процессах дифракционного ГНР. Од-

нако измеренные сечения фоторождения струй адронов оказались в два раза ниже предсказаний КХД во втором порядке ТВ, и, таким образом, коллинеарная факторизация в данных процессах нарушается. Не обнаружено зависимости фактора подавления сечения от величины  $x_\gamma$ . Это указывает на то, что подавление сечения нельзя объяснить взаимодействием между остаточными партонами в фотоне и партонами в лидирующем протоне.

**Сечения образования двухструйных событий и распределения партонов в дифракционном ГНР на коллайдере HERA [11].** Дифференциальные сечения образования двухструйных событий измерены в эксперименте H1 с использованием данных с интегральной светимостью  $51,5 \text{ пб}^{-1}$ . Регистрировались события типа  $ep \rightarrow eXY$ , где система  $X$  содержит по крайней мере две струи, удаленные по быстроте от системы  $Y$  (лидирующий протон или продукты его диссоциации). Проведено сравнение данных с предсказаниями КХД на основе ДРП, полученных во втором порядке теории возмущений на основе анализа данных по инклюзивному дифракционному ГНР [10]. Предсказания КХД описывают сечения образования струй в области малых и промежуточных значений переменной  $z_{\text{ГР}}$  (доля импульса дифракционного обмена, переданная партону, участвующему в ГНР). В результате комбинированного КХД-анализа инклюзивных дифракционных сечений [10] и сечений образования двух струй адронов были получены наиболее точные ДРП для синглета кварков и глюонов в области  $0,05 < z_{\text{ГР}} < 0,9$ . В частности, была значительно улучшена точность определения плотности глюонов в протоне по отношению к результатам предыдущих анализов. Последние физические результаты коллаборации H1 были представлены сотрудниками ОИЯИ на международной конференции «Hadron Structure'07» [12] и международном совещании «HERA and the LHC» [13]. Сотрудники ОИЯИ являются соавторами 9 статей, опубликованных коллаборацией H1 в физических журналах в 2007 г.

Коллаборация NA48 завершила серию экспериментов NA48 [14], NA48/1 и NA48/2 и начала подготовку нового эксперимента на пучке  $K^+$ -мезонов — NA48/3 или NA62 (предложение P326). Все вышеперечисленные эксперименты посвящены поиску и прецизионному измерению параметров прямого  $CP$ -нарушения в распадах каонов и изучению редких распадов каонов и гиперонов. В экспериментах NA48, NA48/1 и NA48/2 полностью закончился набор экспериментальных данных и были достигнуты основные цели. Продолжается анализ экспериментального материала с целью поиска и изучения редких (с вероятностью распада порядка  $10^{-9}$ ) каонных распадов. Ответственностью ОИЯИ в рамках перечисленных экспериментов является анализ трехпионных,  $\pi e e$ - и  $\pi^0 \pi^0 e \nu$ -распадов заряженных каонов. Коллаборация начала подготовку новой про-

граммы — NA48/3 или NA62 (P326) на ускорителе SPS в ЦЕРН, которая посвящена изучению сверхредкого распада — распада заряженного каона на заряженный пион и 2 нейтрино. Ответственностью ОИЯИ в рамках этой программы является разработка дизайна и создание проекта высокоточного детектора на базе тонкостенных (строу) трубок, работающего в вакууме, развитие программ моделирования и реконструкции для строу-детектора.

На основе анализа экспериментальных данных, полученных в 2003–2004 гг. в эксперименте NA48/2, были получены следующие результаты.

- Получены окончательные результаты измерения параметра прямого  $CP$ -нарушения — зарядовой асимметрии наклонов  $A_g = (g^+ - g^-)/(g^+ + g^-)$  далиц-плотов для  $K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm$  и для  $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$  [15]. Новый метод измерения асимметрии с использованием одновременных пучков  $K^+$ - и  $K^-$ -мезонов, а также большой объем накопленных данных позволили получить результат с беспрецедентной точностью. Зарядовые асимметрии оказались равны  $A_g^c = (-1,5 \pm 2,2) \cdot 10^{-4}$  (на основе анализа  $3,11 \cdot 10^9 K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm$ -распадов) и  $A_g^n = (1,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-4}$  (на основе  $9,13 \cdot 10^7 K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$ -распадов). Точность результатов в основном ограничена набранной статистикой.

- В эксперименте NA48/2 был построен далиц-плот для распада  $K^\pm \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^\pm$  на основе  $4,71 \cdot 10^8$  полностью восстановленных событий [16]. В рамках стандартной параметризации Particle Data Group (PDG) были получены следующие значения для параметров:  $g = (-21,134 \pm 0,017) \%$ ,  $h = (1,848 \pm 0,040) \%$ ,  $k = (-0,463 \pm 0,014) \%$ . Качество и статистическая точность набранных данных позволили улучшить точность определения этих значений более чем на порядок величины, а также открыли возможности для создания более сложных теоретических моделей, включающих пион-пионное перерасcеяние, разрабатываемых в настоящее время.

- Были измерены отношения вероятностей редких распадов  $K_{e3}/K_{2\pi}$ ,  $K_{\mu3}/K_{2\pi}$  и  $K_{\mu3}/K_{e3}$  [17]. Измерения основаны на распадах  $K^\pm$ , зарегистрированных в специальном сеансе 2003 г. в эксперименте NA48/2. Получены следующие результаты:  $K_{e3}/K_{2\pi} = 0,2470 \pm 0,0009$  (стат.)  $\pm 0,0004$  (сист.) и  $K_{\mu3}/K_{2\pi} = 0,1637 \pm 0,0006$  (стат.)  $\pm 0,0003$  (сист.). Было обнаружено, что при использовании стандартного среднего значения PDG для нормирующей моды распада  $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0$  обе вероятности полулептонных распадов оказались больше, чем текущее значение, представленное в обзоре PDG, что привело к большему значению величины  $|V_{us}|$  элемента матрицы Кабиббо–Кобаяши–Маскавы по сравнению с величиной, принятой ранее. Кроме того, было обнаружено, что новое измеренное значение для  $K_{\mu3}/K_{e3} = 0,663 \pm 0,003$  (стат.)  $\pm 0,001$  (сист.) согласуется с полумпирическими предсказаниями, основанными на последних измерениях формфакторов.

На основании экспериментальных данных NA48 и NA48/1 были опубликованы следующие результаты.

Впервые был обнаружен слабый радиационный распад  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 e^+ e^-$  [18], было найдено 412 кандидатов в области сигнала, фон оценен как  $15 \pm 5$  событий. Вероятность распада ( $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 e^+ e^-$ ) =  $(7,6 \pm 0,4$  (стат.)  $\pm 0,4$  (сист.)  $\pm 0,2$  (норм.))  $\cdot 10^{-6}$  согласуется с вероятностью внутреннего тормозного излучения, а асимметрия параметра распада  $\alpha_{\Xi\Lambda ee} = -0,8 \pm 0,2$  согласуется с асимметрией параметра распада для  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 \gamma$ . Наблюдался также зарядово-сопряженный процесс ( $\bar{\Xi}^0$ )  $\rightarrow$  ( $\bar{\Lambda}^0$ )  $e^+ e^-$ .

Было выполнено новое высокоточное измерение формфактора распада  $K_L \rightarrow \pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu$  [19] на основе анализа примерно  $2,3 \cdot 10^6$  событий, записанных в 1999 г. в эксперименте NA48.

Было измерено отношение ширин распадов  $\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-) / \Gamma(K_L \rightarrow \pi e \nu)$ , обозначенных как  $\Gamma(K2\pi) / \Gamma(Ke3)$  [20]. Анализ основан на данных, полученных в специальном сеансе 1999 г. в эксперименте NA48. При использовании 47000  $K2\pi$ - и пяти миллионов  $Ke3$ -распадов было получено отношение, равное  $\Gamma(K2\pi) / \Gamma(Ke3) = (4,835 \pm 0,022$  (стат.)  $\pm 0,016$  (сист.))  $\cdot 10^{-3}$ . Были определены вероятность распада  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$  с нарушением  $CP$ -четности и параметр нарушения  $CP$   $|\eta_\pm|$ . При исключении  $CP$ -сохраняющей компоненты  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$  прямого испускания фотонов были получены следующие результаты: относительная вероятность распада  $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (1,941 \pm 0,019) \cdot 10^{-3}$  и  $|\eta_\pm| = (2,223 \pm 0,012) \cdot 10^{-3}$ .

Вклад ОИЯИ в анализ и подготовку нового эксперимента состоял в следующем:

- ведущая роль в анализе асимметрий для ( $K^\pm \rightarrow 3\pi^\pm$ )- и ( $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$ )-распадов;
- теоретическое объяснение электромагнитных вкладов в эффект острия (cusp-эффект) [21];
- существенный вклад в изучение полулептонных распадов каонов;
- проработка конструкции прототипа строу-детектора, работающего в вакууме; разработка и создание прототипа строу-детектора с 48 строу-трубками;
- подготовка и проведение испытаний прототипа строу-детектора в космических лучах и на ускорителе SPS в ЦЕРН;
- участие в разработке проекта полномасштабного строу-детектора для работы в вакууме с высоким разрешением;
- развитие программ моделирования и реконструкции для строу-детектора в новом эксперименте NA62.

Специалисты ЛФЧ принимают участие в экспериментах на детекторе STAR на коллайдере релятивистских тяжелых ионов (RHIC) в Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL). За 2007 г. коллаборация STAR опубликовала 9 работ по ядерным

и спиновым эффектам в соударениях  $p + p$ ,  $d + \text{Au}$ ,  $\text{Au} + \text{Au}$  на RHIC; два сотрудника ЛФЧ являются основными авторами статьи по подавлению выхода электронов в ( $\text{Au} + \text{Au}$ )-соударениях [22] — неожиданно большое подавление выхода адронов с открытым «очарованием» и «прелестью» привело к усовершенствованию существующих и развитию новых теоретических моделей, показывающих необходимость образования горячей и плотной кварк-глюонной материи (рис. 4).

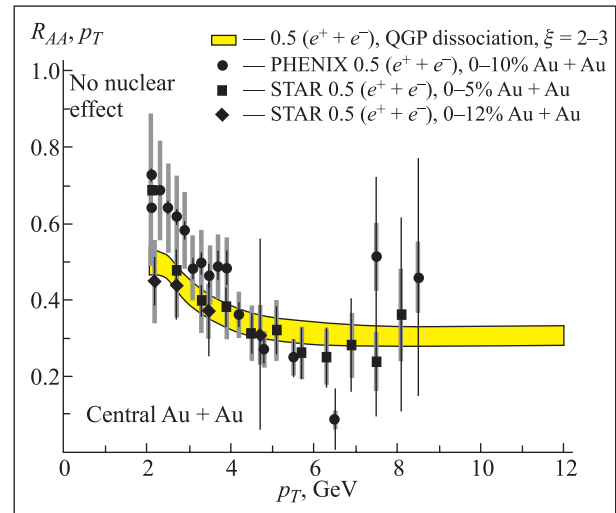


Рис. 4. Подавление тяжелых ароматов в горячей и плотной кварк-глюонной материи, обнаруженное в центральных взаимодействиях  $\text{Au} + \text{Au}$  на коллайдере RHIC

Этот результат обсуждался на ведущих международных конференциях и является одним из самых цитируемых результатов STAR. Помимо участия в 48 сменах сеанса RHIC в 2007 г. физики ЛФЧ выполнили следующие работы.

- Изучение возможности разделения вкладов  $c$ - и  $b$ -кварков в спектры электронов. Данное разделение позволяет существенно ограничить теоретические модели потерь энергии в горячем и плотном веществе, образующемся в центральных ядро-ядерных соударениях. Данные исследования также служат хорошей базой для грядущего изучения подавления  $Y$ .
- Изучение спектров мягких фотонов в ( $p + p$ )-, ( $d + \text{Au}$ )-, ( $\text{Au} + \text{Au}$ )-соударениях. Разработан улучшенный метод восстановления ультрамягких фотонов в ( $\text{Au} + \text{Au}$ )-соударениях путем реконструкции конверсионных электрон-позитронных пар во время-проекционной камере (TPC). Данный метод является дополняющим к методу восстановления мягких фотонов с помощью специализированного кристаллического калориметра (CrD).
- Продолжение работ по разработке CrD, ведущихся совместно с Калифорнийским университетом (Лос-Анджелес, США) и Институтом современной физики (Ланчжоу, Китай). Была зафиксирована

финальная версия геометрии детектора, и начаты работы над созданием прототипа прибора, включающие разработку начальной версии считывающей электроники и системы сбора данных. Были проведены первые испытания образцов кристаллов CsI(Tl), произведенных в Харькове и Ланчжоу.

- Критическое сравнение свойств кварк-глюонной и электромагнитной плазм и предложение возможной экспериментальной проверки их существования [23].

- Создание специализированного программного обеспечения для управления SSH-ключами, необходимого для работы защищенных серверов коллаборации STAR [24].

- Изучение систематических эффектов при вычислении корреляторов, обусловленных зависимостью средних значений наблюдаемых от множественности [25]. Было начато вычисление корреляторов в  $(d + Au)$ -соударениях, зарегистрированных в детекторе STAR.

- Изучение флуктуаций величины эллиптического потока в центральных  $(Au + Au)$ -соударениях с учетом возможной деформации основного состояния ядра золота [26].

- Изучение фемтоскопических корреляций и вытекающих из них следствий, влияющих на динамику рождения частиц [27–30].

- Работа над моделями динамики рождения частиц и генераторами событий. Сравнение модельных расчетов с данными RHIC по спектрам частиц, эллиптическим потокам, фемтоскопическим корреляциям и предсказания для LHC.

Результаты были представлены физиками ЛФЧ в 7 докладах на семинарах ЛФЧ, международных совещаниях и конференциях.

Специалисты ЛФЧ активно участвуют в эксперименте «Термализация» на ускорительном комплексе У-70 в Протвино. В 2007 г. были решены следующие задачи [31–39]:

- проведены работы по подготовке к сеансу электроники вершинного детектора. Устранены недостатки в программном обеспечении, контролирующем запись с полосковых детекторов;

- в течение отчетного периода велись работы по поддержанию в рабочем состоянии дрейфового трека. На основе данных, полученных в методическом сеансе 2006 г., определены координатное разрешение и эффективность регистрации трубок;

- устранены неполадки в работе магнитного спектрометра;

- в системе заливки жидкого гелия введен автоматический контроль за расходом жидкого гелия и температурным режимом;

- детектор гамма-квантов был обновлен и включен в систему записи;

- за счет темы и грантов РФФИ и ОИЯИ проведено обновление компьютерного оборудования, которое составило основу вычислительного комплекса для сеанса 2007 г.;

- разработанные пакеты для решения задачи калибровки геометрических параметров установки позволили провести позиционирование плоскостей вершинного детектора. Проводится обработка данных, полученных в 2006 г. Проанализировано около двух миллионов событий, из них с помощью триггера первого уровня отобрано несколько сотен тысяч событий с множественностью более 10 заряженных частиц. Получены предварительные распределения по множественности в  $pp$ -взаимодействиях до 22 заряженных частиц включительно. Использованы данные вершинного детектора при энергии налетающего протона 50 ГэВ;

- проведено моделирование работы вершинного детектора для анализа эффективности разработанных алгоритмов восстановления треков. Один из них основан на применении фильтра Калмана. Аналогичная работа проводится для дрейфового трека и магнитного спектрометра. Создано программное обеспечение для восстановления треков в этих детекторах;

- проведена калибровка электромагнитного калориметра и отлажена процедура обработки его данных. Подтверждением правильного определения калибровочных коэффициентов является наблюдение пика от распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  и определение массы  $\pi^0$ -мезона —  $0,1349 \pm 0,009$  ГэВ. На небольшой статистике событий с большой множественностью ( $< 100$ ) показано, что средняя множественность нейтральных мезонов увеличивается с ростом числа заряженных частиц.

Развит теоретический подход к описанию событий с большой множественностью, в том числе:

- модель глюонной доминантности, развиваемая в рамках проекта, согласуется с современным представлением о фазовых переходах адронов в кварк-глюонную материю и обратно (адрионизация);

- в рамках сотрудничества СВД-2 совместно с сотрудниками БИТФ (Киев, Украина) исследуется возможность обнаружения бозе-эйнштейновской конденсации (БЭК) в  $pp$ -соударениях с большой множественностью (большей, чем средняя) при энергии налетающего протона 50–70 ГэВ. Показано теоретически, что в области большой множественности вторичных пионов экспериментальным сигналом об образовании БЭК является резкое возрастание флуктуаций множественности (масштабной дисперсии  $\omega$ ) числа нейтральных и заряженных мезонов при фиксированной полной множественности.

Продолжается поиск кольцевых событий в  $pp$ - и  $pA$ -взаимодействиях с большой множественностью. В  $pA$ -взаимодействиях с числом заряженных частиц более 18 обнаружено указание на проявление кольцевой структуры.

## ПОДГОТОВКА НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Физики ОИЯИ участвуют в проекте «Компактный мюонный соленоид» (CMS) в составе коллаборации России и стран-участниц ОИЯИ (RDMS). Основные усилия ОИЯИ в проекте CMS сконцентрированы на создании внутренних торцевых детекторов CMS. RDMS несет полную ответственность за торцевые адронные калориметры (HE) и передние мюонные станции (ME1/1). ОИЯИ участвуют также в создании предливневого детектора (ES) торцевого электромагнитного калориметра. Наряду со сборкой и запуском детекторных систем большие усилия физиков ОИЯИ сфокусированы на развитии долгосрочной программы физических исследований на установке CMS и подготовке программы начального периода.

В 2007 г. первый внутренний торцевой детектор YE + 1 опущен в подземный экспериментальный зал, выполнен монтаж кабельных и электронных систем и коммуникаций, проведены пусконаладочные работы и подготовка к набору данных с космическими мюонами. На втором детекторе YE-1 проведено тестирование в наземном зале, начата его подготовка к опусканию. Завершена обработка экспериментальных данных магнитного теста (MTCC-2006) 60-градусного сектора установки CMS в наземном зале.

В настоящее время обязательства по созданию торцевого адронного калориметра полностью выполнены. В содружестве с ИФВЭ (Протвино), НЦ ФЧВЭ (Минск), ЦВТТ НИКИЭТ (Москва), заводом МЗОР (Минск), Институтом монокристаллов и ННЦ ХФТИ (Харьков) оба торцевых адронных калориметра были доставлены в ЦЕРН, собраны, оснащены считывающей электроникой и протестированы. Промышленные предприятия России и стран-участниц ОИЯИ, такие как завод «Красный выборжец» и «Ижорские заводы» в Санкт-Петербурге, Завод им. Октябрьской революции в Минске, Институт монокристаллов в Харькове и др., были широко вовлечены в проектирование и создание торцевых адронных калориметров. В частности, в НИКИЭТ (Москва) в сотрудничестве с предприятиями Санкт-Петербурга была разработана технология производства латуни из отработанных артиллерийских гильз.

В 2007 г. после погружения HE + 1 в подземный экспериментальный зал проведены монтажные и пусконаладочные работы. Завершается подготовка систем обеспечения в зале. Проведены наладочные работы HE-1 в наземном зале и подготовка к погружению в подземный зал. Завершены обработка и анализ экспериментальных данных 2006 г., полученных с использованием космических мюонов и радиоактивного источника в магнитном поле в наземном зале. Полученные результаты подтверждают ожидаемые характеристики.

Были выполнены все обязательства ОИЯИ по изготовлению пропорциональных катодно-стриповых мюонных камер ME1/1. Все камеры ME1/1 (включая запасные) были доставлены, установлены и протестированы в ЦЕРН.

В 2007 г. после погружения ME+1/1 в подземный экспериментальный зал проведены монтажные и пусконаладочные работы. Результаты анализа экспериментальных данных 2006 г., полученных с использованием космических мюонов в магнитном поле в наземном зале, подтверждают ожидаемое пространственное разрешение катодных камер ME1/1.

В 2007 г. в сотрудничестве с НИИМВ (Зеленоград) выполнены обязательства ОИЯИ по завершению серийного изготовления радиационно стойких детекторов предливневой системы HE. Часть детекторов прошла испытание на радиационную стойкость на ИБР-2. Завершена сборка модулей детекторов в Дубне и осуществлена их поставка в ЦЕРН. В ОИЯИ разработана база данных для хранения информации по измерению характеристик этих детекторов, которая установлена в ЦЕРН.

В 2007 г. проведен двухмесячный сеанс по набору калибровочных данных на пучке SPS для комбинированной системы торцевой калориметрии CMS, иницированный и координированный ОИЯИ. Этот сеанс продолжил традицию объединения RDMS CMS по комбинированным тестам прототипов торцевых детекторов, начатым в 1995 г. По сравнению с первым тестом 1995 г., который был важен для оптимизации и интеграции отдельных детекторов и торцевой системы в целом, основная цель теста 2007 г. — калибровка торцевой калориметрической системы CMS в конфигурации, подобной реальному эксперименту.

Каждый из торцевых детекторов HE, EE и ES калиброван независимо и впервые — комплексно, в условиях, близких к эксперименту при низких и высоких энергиях от 2 до 300 ГэВ, с хорошей идентификацией мюонов, электронов, пионов, каонов и протонов. В тесте использованы три независимые системы приема данных для подсистем HCAL, ECAL и предливневого детектора, общая система запуска и приема данных CMS и управления детектором CMS, а также три подсистемы контроля качества данных и комбинированный экспресс-анализ экспериментальных данных. В подготовке эксперимента приняли участие многие эксперты, комбинированный тест привлек и заинтересовал также многих молодых физиков и студентов в связи с возможностью приобретения навыков по управлению установкой CMS и участия в будущих сеансах по реальному набору данных.

В 2007 г. основные усилия физиков ОИЯИ были сфокусированы на подготовке к набору первых дан-

ных и продолжении развития программы физических исследований CMS. Они внесли важный вклад в калибровку торцевых адронных калориметров, развитие базового математического обеспечения и программ реконструкции мюонов и струй, анализ результатов пучковых измерений, развитие сценария обработки и анализа данных.

Группой ОИЯИ получены следующие основные результаты, основанные на полном моделировании, реконструкции и анализе с учетом систематических эффектов:

1. Новая версия программного пакета CMS (CMSSW) для реконструкции и анализа данных отлажена и проверена для исследований физики с димюонами и струями.

2. Получены новые оценки возможности CMS по отбору и реконструкции димюонных пар. Эффективность отбора регистрации, включая реконструкцию и критерии отбора, составляет 95 %. Эффективность реконструкции при обработке событий Дрелла-Яна на основе Стандартной модели — порядка 98–94 % для масс 0,2–5 ТэВ/ $c^2$ . Полная эффективность реконструкции в широкой массовой области, включая регистрацию и обработку, — около 90 %.

3. Разработан и проверен реалистичный сценарий юстировки детекторов на данных 10 пб<sup>-1</sup>. Сценарий использует точность монтажа различных детекторов CMS и оценку точности как оптической юстировки, так и юстировки с помощью треков частиц. Значения юстировки близки к ожидаемым и будут уточняться во время набора данных.

4. Детально исследованы возможности эксперимента CMS по измерению асимметрии вперед-назад для димюонных пар с максимально возможными массами, доступными на ЛНС. Эти измерения могут использоваться для проверки Стандартной модели вплоть до больших переданных импульсов в ранее недоступной энергетической области. Рассмотрены различные методы определения асимметрии вперед-назад для димюонного канала. Наибольшие систематические ошибки связаны с неопределенностью PDF. Статистические ошибки доминируют при инвариантных массах более 1 ТэВ/ $c^2$  даже для 100 фб<sup>-1</sup>. Для области больших инвариантных масс неопределенности асимметрии вперед-назад ограничиваются количеством событий (0,04 для масс более 1 ТэВ/ $c^2$  при 100 фб<sup>-1</sup>) и систематическими эффектами (менее 0,05 для масс до 2 ТэВ/ $c^2$ ).

5. Улучшена процедура определения энергетической шкалы струй в процессе прямого фоторождения  $\gamma + \text{jet}$ . Систематический сдвиг энергетической шкалы струй с использованием этого метода получен с применением программного пакета CMS (CMSSW). Показано, что процесс  $\gamma + \text{jet}$  обеспечивает достаточную статистику для калибровки струй вплоть до  $E_T^{\text{jet}} \approx 1000$  ГэВ.

6. Начата обработка экспериментальных данных пучкового теста комбинированной системы торце-

вой калориметрии ES–EE–HE CMS. Предложен, разработан и проверен на экспериментальных данных новый метод калибровки, основанный на анализе пионных и электронных ливней различных энергий. Предварительный результат использования этого метода показывает, что стохастический член энергетического разрешения равен 114 %, а константный — 2,7 %.

Результаты исследований опубликованы в 11 отчетах CMS (CMS Notes) и реферируемых журналах, а также представлены на совещаниях коллаборации CMS и международных конференциях [40–55].

Продолжено развитие регионального центра RDMS LCG. Новый пакет математического обеспечения установлен в ЛИТ ОИЯИ. Проведено тестирование модели данных CMS, систем обслуживания данных и запуска задач. Во время сеанса CSA07 выполнены важные работы по развитию системы управления данными ЦЕРН–ОИЯИ. Проведено тестирование эффективной передачи данных цепочки Tier-0 → Tier-1 → Tier-2.

В 2007 г. работы по проекту ATLAS LAr были сфокусированы на решении следующих задач:

1) обработка результатов тестирования электроники HEC на установке ATLAS [56];

2) анализ данных, полученных в сеансах с космическими мюонами [57];

3) продолжились работы по калибровке LAr-калориметров. Выполнена работа по пересылке из ЦЕРНа на ферму ЛФЧ более 100 Гбайт МК-информации о прохождении одиночных заряженных пионов через установку ATLAS;

4) продолжились работы по освоению программного обеспечения установки ATLAS для проведения моделирования физических процессов в реальных условиях эксперимента (Pythia, Athena и др.). На этой основе начаты работы по исследованию процессов совместного рождения топ-кварков и хиггс-бозонов, расширяющих возможности экспериментального наблюдения каналов с рождением хиггс-частиц;

5) в рамках проекта INTAS проводилась работа по подготовке эксперимента по исследованию радиационной стойкости материалов жидкоаргонных калориметров детектора ATLAS на выведенном протонном пучке ускорителя на энергию 70 ГэВ в ИФВЭ, Протвино. Проект инициирован в связи с предполагаемым повышением на порядок светимости ЛНС ЦЕРН. По разделению обязанностей в рамках данного проекта в ОИЯИ изготовлены 2 модуля адронного калориметра, прокалиброваны с точностью в 50 мК и установлены в криостаты 20 датчиков измерения температуры жидкого аргона, разработана и изготовлена система обеспечения жидким азотом трех криостатов с модулями калориметров. Все изготовленное оборудование доставлено в ИФВЭ и смонтировано на канале. Первая экспозиция на пучке протонов с энергией 60 ГэВ проведена 9–17 ноября.



В течение отчетного года с участием специалистов ЛФЧ завершён весь объём работ по интеграции внутреннего детектора в установку ATLAS и подготовки его к запуску [58–60]. Это — монтаж в шахте кремниевого и строу-детекторов, кабельных жгутов, низковольтной и высоковольтной систем, трасс газообеспечения, систем охлаждения и т.д. Проведено тестирование систем высоковольтного питания де-

текторов и всех сервисных систем, осуществлён запуск TRT. С участием сотрудников НМОКД проводились работы по мониторингу TRT, моделированию некоторых физических процессов, проведению сеанса с космическими лучами. Уникальные возможности установки ATLAS проиллюстрированы на примере моделирования процесса, известного как радиация Хокинга (рис. 5).

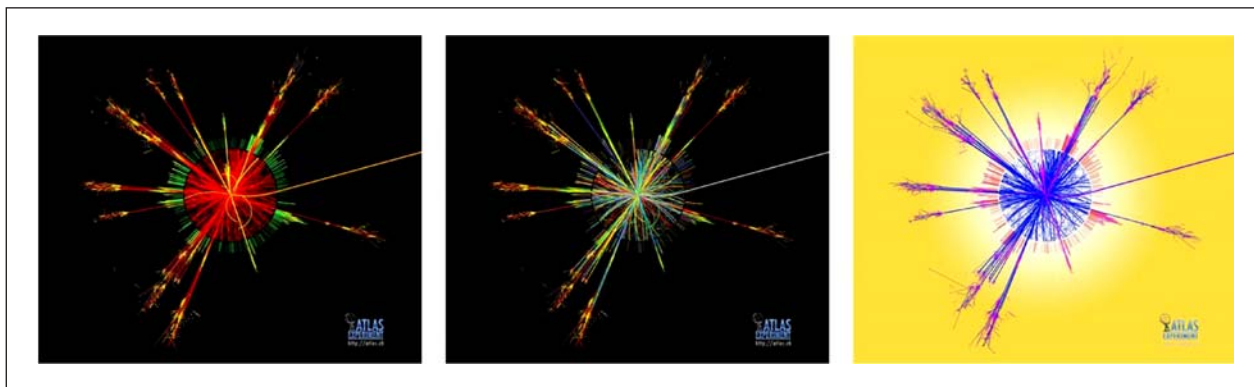


Рис. 5. Пример моделирования процесса, известного как радиация Хокинга

Разработаны и исследованы прототипы сегментного строу-детектора и отдельных строу с высоким дифференциальным давлением их газового наполнения (до 4 бар). Стендовые исследования сегментного строу-детектора показали возможность его высокой гранулированности (до 2 см<sup>2</sup>). Проведено также моделирование процессов считывания информации и выработаны требования к линиям считывания. Исследования строу-детекторов высокого давления, проведенные на стенде и на пучке нуклотрона, показали возможность создания на их основе детекторов минимально ионизирующих частиц и фотонов с энергией квантов до ~ 15 кэВ.

В 2007 г. работы по проекту **НИС** выполнялись в двух основных направлениях [61–63]:

1) разработка программного обеспечения (он-лайн и офф-лайн);

2) создание и развитие аппаратурной базы (включая производство электроники).

1. Программное обеспечение.

Были выполнены следующие работы:

- усовершенствованы программные модули реконструкции событий;

- с использованием новых модулей реконструкции и генерации событий обновлены оценки ожидаемых характеристик установки. Разработано программное обеспечение для анализа времяпролетной информации;

- разработана процедура и программное обеспечение для калибровки геометрических параметров трековых детекторов, что было использовано при анализе данных методического сеанса, проведенного в марте 2007 г.

Было разработано новое программное обеспечение для он-лайн анализа данных, оно использовалось в сеансе по комплексному запуску установки на введенном пучке нуклотрона в марте 2007 г.

2. Работы с детекторами и аппаратурой.

В этом направлении было сделано следующее:

- Завершено изготовление жидководородной мишени (длиной 10 см, 3 см в диаметре). Мишень установлена на рабочем месте, проведено ее комплексное криогенное испытание вместе с сопутствующим оборудованием. Мишень сдана в эксплуатацию.

- Времяпролетные детекторы (RPC, 50 модулей) были проверены и исследованы на стенде с использованием космических лучей и на пучке нуклотрона во время сеанса, проведенного в марте 2007 г. Две «стенки» RPC смонтированы в установке. Изготовлена часть регистрирующей электроники (модули TQDC). Укомплектована часть высоковольтных разъемов и часть системы высоковольтного (7 кВ) питания. Однако комплектация всей системы не завершена.

- Пропорциональные камеры и их регистрирующая электроника были подготовлены и использованы в сеансе в 2007 г. Были подготовлены новые модули электроники, и вся система была готова к ноябрьскому (37-му) сеансу нуклотрона.

- Производство мини-дрейфовой камеры (MDC, газовый контейнер) закончено в ОП ОИЯИ. Ожидается, что в первой половине 2008 г. камера будет готова к испытаниям на пучке.

- Продолжались методические работы по совершенствованию стартового детектора времяпролетной

системы; испытания этого детектора были выполнены в мартовском (2007 г.) сеансе и на стенде в октябре 2007 г.

— Создана система сбора данных; был разработан и изготовлен триггерный модуль. Система была испытана во время подготовки к сеан-

## УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В 2007 г. в ЛФЧ ОИЯИ совместно с AV-RF CERN (Отделом высокочастотных систем для ускорителей ЦЕРН) продолжались работы по созданию **системы подавления (СП) поперечных когерентных колебаний пучка** в ЛНС. Она предназначена для предотвращения развития поперечных неустойчивостей и демпфирования остаточных колебаний пучка после инжекции, а также для возбуждения поперечных колебаний частиц при измерениях параметров пучка. В 2006 г. в ЛФЧ ОИЯИ были завершены работы, связанные с проектированием и серийным изготовлением 20 дефлекторов и 20 мощных широкополосных усилителей для СП на ЛНС в соответствии с соглашениями ЦЕРН–Россия–ОИЯИ. Созданное оборудование было аттестовано в ЦЕРН, оно полностью соответствует проектным спецификациям.

Система подавления поперечных когерентных колебаний пучка в ЛНС включена в перечень оборудования, которое должно функционировать уже при первой инжекции частиц в коллайдер. В связи с этим в 2007 г. были начаты работы по окончательной наладке всех узлов СП. 16 дефлекторов установлены в туннеле ЛНС и предварительно испытаны. Все полосковые линии, обеспечивающие соединение усилителей с дефлекторами, также смонтированы в туннеле ЛНС. Осуществлена комплексная наладка 16 мощных широкополосных усилителей на специализированном испытательном стенде ЦЕРН при постоянном напряжении 12 кВ на аноде тетрода и протекающем через тетрод постоянном токе 7 А при входном сигнале 0 дБ·м. Тесты показали высокую идентичность характеристик усилителей с тетрами одного типа. Разброс измеренных коэффициентов усиления усилителей составил не более 2 дБ, что обусловлено разницей величин крутизны характеристик используемых тетродов RS2048-CJC и RS2048-CJ. Проведены тепловые испытания тетродов с учетом функционирования системы охлаждения усилителя. Температура на цоколе тетрода возросла до 90 °, что допустимо. Результаты предварительных измерений амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик усилителя, нагруженного на дефлектор, использованы при проектировании цифрового сигнального процессора в цепи обратной связи СП. 8 мощных усилителей были установлены в туннеле ЛНС и успешно протестированы в режиме низкой мощности (12 кВ/2 А, –10 дБ·м).

сам и использовалась при работе на пучке. Вся DAQ-электроника, равно как и электроника для времяпролетной системы и MDC, была разработана и изготовлена группой С.Н.Базылева (ЛВЭ). Было создано также необходимое программное обеспечение.

Полномасштабные тесты мощных широкополосных усилителей показали, что измеренные характеристики полностью соответствуют проектным спецификациям.

Продолжаются теоретические исследования систем подавления поперечных когерентных колебаний пучка в современных синхротронах [64]. Изучена проблема роста эмиттанса пучка, возникающего вследствие ошибок инжекции, в синхротронах с системами подавления когерентных поперечных колебаний, в которых передаточная функция в цепи обратной связи является нелинейной. Рассчитан относительный рост эмиттанса пучка для линейной и нелинейной передаточных функций цепи обратной связи системы подавления. Предсказаны эффекты увеличения постоянной затухания когерентных колебаний пучка и уменьшения разброса амплитуд поперечных когерентных колебаний сгустков при использовании нелинейного режима системы подавления колебаний с положительной кубической добавкой в передаточной функции цепи обратной связи.

Проведен анализ характеристического уравнения, что позволило вычислить темп подавления поперечных когерентных колебаний в зависимости от инкремента неустойчивости, коэффициента передачи цепи обратной связи и других ее радиотехнических параметров, исследована устойчивость пучка в синхротронах с цифровыми фильтрами в цепи обратной связи системы подавления поперечных когерентных колебаний. Показано, что фазовый сдвиг, вносимый узкополосным режекторным фильтром, может быть компенсирован фазовым фильтром, пропускающим все частоты сигнала с равным усилением, однако изменяющим фазу сигнала. Установлено, что при одновременном использовании цифровых узкополосного режекторного и фазового фильтров в цепи обратной связи и оптимальном подборе их параметров достигается максимальный темп подавления когерентных колебаний, соответствующий идеальной широкополосной системе подавления.

Планируется, что специалисты ЛФЧ будут участвовать в работах по запуску системы подавления поперечных когерентных колебаний пучка ЛНС и исследованиях динамики частиц с целью получения предельных параметров пучка в коллайдере.

Ближайшие планы на 2008 г. связаны с участием специалистов ЛФЧ в работах по энергетиче-

скому запуску 16 мощных широкополосных усилителей и 16 дефлекторов, установленных в туннеле ЛНС, вместе с преусилителями и высоковольтными системами питания, размещенными в наземном зале над четвертым прямолинейным промежутком коллайдера. Запуск СП с пучком запланирован в 2008 г. В этом же сеансе предполагается начать исследования по оптимизации режимов работы системы подавления.

В течение 2007 г. в рамках проекта CLIC были выполнены следующие работы.

1. Были проанализированы и сравнены с моделированием результаты предварительных экспериментов по нагреву тестового резонатора. Предложены два пути повышения импульсного нагрева: 1) изменяя форму центрального кольца, несколько уменьшить площадь прогреваемого пояса; 2) увеличить амплитуду поля за счет увеличения добротности резонатора.

2. Были сконструированы и изготовлены с прецизионной обработкой алмазным инструментом новое центральное кольцо и два варианта диафрагм. Электродинамические измерения показали, что новые варианты тестового резонатора соответствуют параметрам эксперимента.

3. Осуществлены эксперименты по запитке нескольких вариантов тестового резонатора с различными брэгговскими резонаторами в МСЭ-генераторе. Максимальная температура на уровне (150–190)°С была зарегистрирована в тестовом резонаторе с добротностью 1500. Эта температура достаточна для проведения финальной стадии экспериментов.

4. Эти результаты были доложены на рабочем совещании «CLIC-2007» в октябре и обсуждены с лидерами проекта CLIC. Было констатировано, что второй этап контракта № K723/PS выполнен.

5. На совещании представителей ОИЯИ, ИПФ РАН и коллаборации проекта CLIC была согласована детальная программа экспериментов в рамках третьего этапа контракта.

6. На базе компьютера с 4-ядерным процессором и оперативной памятью 8 Гбайт было организовано рабочее место для трехмерного электродинамического моделирования. Оно используется для оптимизации брэгговских резонаторов, тестового резонатора и элементов линии транспортировки ВЧ-излучения.

7. Продолжена поэтапная модернизация источников питания фокусирующих линз ускорителя ЛИУ-3000.

8. Проведены предварительные эксперименты по облучению биологических объектов мощной волной с частотой 30 ГГц. Конечной целью этих работ является возможное медицинское применение такого излучения.

В рамках темы «**Разработка ускорителей и радиационных технологий**» были выполнены следующие задачи.

1. Были изготовлены и налажены основные узлы нового ускорителя Р-300/10 с параметрами: энергия  $E = 300$  кэВ, средний ток  $I = 5–10$  мА, размер многопучкового катода  $\varnothing 200$  мм.

2. Усилия по решению основной экспериментальной проблемы были сосредоточены на разработке и настройке системы стабилизации. Планируется получить к концу года проектные значения напряжения  $E = 300$  кэВ, ток 10 мА со стабильностью  $\pm 5\%$ .

3. Разработана и изготовлена новая система повышающего трансформатора, которая позволила увеличить КПД ускорителя с 70 до 95%.

4. Завершено создание системы стабилизации ускоряющего напряжения и тока пучка электронов. Начаты работы по тренировке катодов многопучкового ускорителя и наладке системы стабилизации пучка.

5. Особенность формирования рабочей поверхности холодных катодов из волокнистого пиролитического углерода состоит в том, что не удается создать требуемое количество рабочей поверхности путем механической обработки катодов. Поэтому для получения проектных параметров вольт-амперных характеристик катодов требуется их тренировка, в процессе которой происходит электрополировка поверхности.

6. Тренировка ведется в граничном режиме перехода полевой эмиссии микронеоднородностей катодов во взрывную эмиссию. Полировка осуществляется путем испарения микронеоднородностей.

7. Узкий диапазон тренировочного режима накладывает специфические требования на работу системы стабилизации ускоряющего напряжения и тока пучка электронов. Необходимо быстро реагировать на переход в предпробойную стадию и защищать катоды от электрических разрядов.

8. Тренировка катодов ведется до напряжения, превышающего максимальное рабочее напряжение на 10%. После завершения тренировки работа ведется в стабильном режиме полевой эмиссии всех катодов многопучкового ускорителя.

## РАЗВИТИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В соответствии с поставленными задачами в 2007 г. получены следующие основные результаты.

• Производительность компьютерной фермы ЛФЧ–ЛВЭ увеличена в 1,2 раза по сравнению с

2006 г. и доведена до 70K SI2K за счет включения в ее состав нового компьютерного кластера, ориентированного на работы по проекту NICA/MPD.

- Дисковое пространство, доступное пользователям фермы, увеличилось по сравнению с 2006 г. в 1,3 раза и составило 20 Тбайт.

- В число экспериментов, активно использующих возможности компьютерной фермы ЛФЧ–ЛВЭ, вошел подготавливаемый эксперимент МРД.

- Организован специализированный сервер проекта NISA/MPD, оснащенный специализированным программным обеспечением (за счет гранта дирекции ОИЯИ).

- Обеспечено подключение по гигабитному оптическому каналу связи корпуса №2 к центральному узлу связи ЛВЭ (за счет гранта дирекции ОИЯИ).

## ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В рамках проекта ДВИН в течение 2007 г. было продолжено создание системы отдаленной неразрушающей идентификации незаконных веществ, основанной на методе меченых нейтронов (MTN). Для MTN используются монохроматические нейтроны с энергией 14,1 МэВ, образованные в реакции  $d + t \rightarrow {}^4\text{He} + n$ . В этой реакции  $\alpha$ -частицы с энергией 3,5 МэВ вылетают назад относительно нейтрона (в с.ц.м.). Измеряя траекторию  $\alpha$ -частицы, можно определить направление соответствующего нейтрона. Эти «меченые» нейтроны взаимодействуют с проверяемым объектом и образуют  $\gamma$ -кванты в реакции  $A(n, \gamma)A'$  со спектром энергий — особым для каждого химического элемента в проверяемом объекте. Характеристики  $\gamma$ -спектров могут служить указанием для идентификации скрытых веществ. Основное преимущество MTN-метода — большая чувствительность к небольшим количествам скрытых веществ по сравнению с методами, основанными на контрасте плотности, X- и  $\gamma$ -лучевой интроскопии. Мечение нейтрино обеспечивает временную привязку, которая может быть использована для отбора событий в определенном временном интервале, что значительно снижает фон. Показано, что использование  $(\alpha-\gamma)$ -совпадений повышает соотношение сигнал–фон более чем в 200 раз, что позволяет идентифицировать небольшие количества взрывчатых веществ. Быстрые нейтроны (14 МэВ) удобны для поиска скрытых объектов из-за их высокой способности проникать внутрь испытываемого материала. Они особенно подходят для инспектирования объектов среднего (багаж) и большого (карго-контейнеры) размеров. Разработка этой системы была успешно выполнена в сотрудничестве Объединенного института ядерных исследований и Федерального агентства безопасности Российской Федерации (ФСБ).

В 2007 г. была испытана стационарная система в лаборатории Федерального агентства безопасности. Система показала высокую эффективность иденти-

- Увеличено число рабочих мест, подключенных различными способами к локальным подсетям лаборатории.

- Расширилась зона работы беспроводных средств связи за счет включения в ее структуру корпусов №2 и №3.

- Налажена стабильная работа по централизованному использованию в ЛФЧ и ЛВЭ IP-телефонии.

- Проведена работа по стабилизации электропитания и обеспечению кондиционирования компьютерной фермы ЛВЭ–ЛФЧ.

фикации взрывчатых веществ, спрятанных в чемоданах, с низкой вероятностью ошибочных определений [65]. В настоящее время система находится в экспериментальной эксплуатации в лаборатории ФСБ. В течение 2007 г. были также выполнены следующие работы:

- создана мобильная система, основанная на MTN-методе идентификации взрывчатых веществ;

- создан и испытан новый 64-канальный альфа-детектор;

- электронная системы сбора информации и программного выбора решения были подготовлены и проверены для прототипа системы безопасности аэропорта. Эта работа была выполнена по контракту с «Kyungwon Enterprise» Co. Ltd., Сеул, Корея.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *COMPASS Collab.* Outline for Generalized Parton Distribution Measurements with COMPASS at CERN. CERN-SPSC-2005-007. 2005.
2. *COMPASS Collab.* The Polarised Valence Quark Distribution from Semi-Inclusive DIS. CERN-PH-EP/2007-24. hep-ex/0707.4077.
3. *COMPASS Collab.* Double Spin Asymmetry in Exclusive  $\rho^0$  Muon Production at COMPASS. CERN-PH-EP/2007-009. hep-ex/0704.1863.
4. *COMPASS Collab.* Direct Measurement of the Gluon Polarisation in the Nucleon via Charm Meson Production and Decay // Phys. Rev. Lett. (submitted).
5. *Airapetian A. et al.* Cross Sections for Hard Exclusive Electroproduction of  $\pi^+$  Mesons on a Hydrogen Target. DESY-07-098; Phys. Lett. B (submitted).
6. *Airapetian A. et al.* Transverse Polarization of  $\Lambda$  and  $\bar{\Lambda}$  Hyperons in Quasi Real Photon-Nucleon Scattering at HERMES. DESY-07-036; Phys. Lett. D (submitted).
7. *Airapetian A. et al.* Hadronization in Semi-Inclusive Deep Inelastic Scattering on Nuclei. DESY-07-050; Nucl. Phys. B (in press).
8. *Airapetian A. et al.* Beam-Spin Asymmetries in the Azimuthal Distribution of Pion Electroproduction // Phys. Lett. B. 2007. V. 648.

9. *H1 Collab.* Tests of QCD Factorisation in the Diffractive Production of Dijets in Deep-Inelastic Scattering and Photoproduction at HERA. DESY-07-018; hep-ex/0703022; DESY-07-018; Eur. Phys. J. C. 2007. V. 51. P. 549.
10. *H1 Collab.* Measurement and QCD Analysis of the Diffractive Deep-Inelastic Scattering Cross Section at HERA. DESY-06-049; hep-ex/0606004; Eur. Phys. J. C. 2006. V. 48. P. 715.
11. *H1 Collab.* Dijet Cross Sections and Parton Densities in Diffractive DIS at HERA. DESY-07-115; hep-ex/0708.3217; JHEP. 2007. V. 0710. P. 042.
12. *Kapishin M.* Diffraction and Vector Meson Production at HERA. Talk Presented on Behalf of the H1 and ZEUS Collab. at the Intern. Conf. «Hadron Structure'07», Modra-Harmonia, Slovakia, Sept. 3–7, 2007: Proc. Jour. Fiz. B (Zagreb, Croatia).
13. *Kapishin M.* H1 Roman Pots: Experiences and Perspectives. Talk Presented at the Intern. Workshop: HERA and the LHC, DESY, Hamburg, March 12–16, 2007.
14. *Fanti V. et al.* The Beam and Detector for the NA48 Neutral Kaon  $CP$  Violation Experiment at CERN // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 584. P. 433–471.
15. *Batley J.R. et al.* Search for Direct  $CP$  Violating Charge Asymmetries in  $K^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm$  and  $K^\pm \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^\pm$  Decays. CERN-PH-EP-2007-021. 2007. 28 p.; Eur. Phys. J. C (submitted); 0707.0697.
16. *Batley J.R. et al.* Measurement of the Dalitz Plot Slopes of the  $K^\pm \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^\pm$  Decay // Phys. Lett. B. 2007. V. 649. P. 349–358.
17. *Batley J.R. et al.* Measurements of Charged Kaon Semileptonic Decay Branching Fractions  $K^\pm \rightarrow \pi^0\mu^\pm\nu$  and  $K^\pm \rightarrow \pi^0e^\pm\nu$  and Their Ratio // Eur. Phys. J. C. 2007. V. 50. P. 329–340.
18. *Batley J.R. et al.* First Observation and Branching Fraction and Decay Parameter Measurements of the Weak Radiative Decay  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 e^+ e^-$  // Phys. Lett. B. 2007. V. 650. P. 1–8.
19. *Lai A. et al.* Measurement of  $K_{\mu 3}$  Form Factors // Phys. Lett. B. 2007. V. 647. P. 341–350.
20. *Lai A. et al.* Measurement of the Ratio  $\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+\pi^-)/\Gamma(K_L \rightarrow \pi e \nu)$  and Extraction of the  $CP$  Violation Parameter  $|\eta_\pm|$  // Phys. Lett. B. 2007. V. 645. P. 26–35.
21. *Gevorgyan S.R. et al.* Electromagnetic Effects and Scattering Lengths Extraction from Experimental Data on  $K^\pm \rightarrow 3\pi$  Decays. JINR Preprint E2-2007-56. Dubna, 2007.
22. *Abelev B.I. et al. (STAR).* Transverse Momentum and Centrality Dependence of High- $p_T$  Nonphotonic Electron Suppression in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV. nucl-ex/0607012; Phys. Rev. Lett. 2007. V. 98. P. 192301.
23. *Zulkarneev R.* Does the Fireball Found in Au + Au Collisions at RHIC Resemble Plasma? arXiv:0706.1007.
24. *Arkhipkin D., Lauret J.* An SSH Key Management System: Easing the Pain of Managing Key/User/Account Associations // J. Phys.: Conf. Ser. (submitted); Manuscript id: 365.
25. *Filip P.* On Systematical Corrections to Correlators. arXiv:0711.0608.
26. *Filip P.* Azimuthal Asymmetries in Central Collisions of Heavy Ions with Rare-Earth Nuclei // Workshop on Relativ. Nucl. Phys. Kiev, June 18–22, 2007; Phys. At. Nucl. (submitted).
27. *Lednicky R.* Femtoscope Correlations in Multiparticle Production and Beta-Decay. nucl-th/0702063; Braz. J. Phys. 2007. V. 37. P. 939–948.
28. *Lednicky R., Bekele S.* Neutral Kaon Correlations in  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV Au + Au Collisions at RHIC // Braz. J. Phys. 2007. V. 37. P. 994–1001.
29. *Bekele S. et al.* Status and Promise of Particle Interferometry in Heavy-Ion Collisions. nucl-ex/0706.0537v2.
30. *Stavinsky A. et al.* Residual Correlations between Decay Products of  $\pi^0\pi^0$  and  $p\pi^0$  Systems. nucl-th/0704.3290.
31. *Aleev A. et al.* High Multiplicity Study at 70 GeV/c. SVD-Collaboration // Proc. of the «Foundations and Advances in Nonlinear Science». Conf.-School. 2006.
32. *Kokoulina E.S., Nikitin V.A.* Study of Multiparticle Production by Gluon Dominance Model // Symmetry and Integrated Systems: Selected Works of Seminar (2000–2005) / Ed. by A.N. Sissakyan. Dubna, 2005. V. 1.
33. *Volkov M.K., Kokoulina E., Kuraev E.A.* Excitement of Physical Vacuum // Симметрии и интегрируемые системы: Избр. тр. семинара (2000–2005) / Под общ. ред. А.Н. Сисакяна. Дубна, 2005. Т. 2.
34. *Kuraev E.A. et al.* Muon Multiplicity at High Energy Proton-Nuclei Collisions. hep-ph/0706.4404.
35. *Kokoulina E.S., Kutov A.Ya. (VD-2 Collab.)* Multiparticle Production at High Multiplicities. arXiv: 07.07.067; Intern. Seminar-Conf., Dnepropetrovsk, Ukraine, 2007.
36. *Kokoulina E.S., Kutov A.Ya., Nikitin V.* Gluon, Dominance Model and Cluster Production // BJP. 2007. V. 37, No. 2C. P. 785–787.
37. *Begun V., Gorenstein M.I. (BITP, Kiev).* Bose-Einstein Condensation of Pions // Proc. of the 4th Intern. Workshop on Critical Point and Onset Deconfinement, Darmstadt, Germany, July 9–13, 2007 (submitted); arXiv:0709.1434.
38. *Begun V., Gorenstein M.I. (BITP, Kiev).* Bose-Einstein Condensation of Pions in High Multiplicity Events // Phys. Lett. B. 2007. V. 653. P. 190–195.
39. *Kuraev E., Kokoulina E.* Possible Mechanism of Condensation of the Slow Pion Gas // Very High Multiplicity Physics: Proc. of the Sixth Intern. Workshop, Dubna, April 12–13, 2005. Dubna, 2007. P. 12–13; *Kokoulina E., Nikitin V.* Multiparticle Dynamics Study by Gluon Dominance Model // Very High Multiplicity Physics: Proc. of the Sixth Intern. Workshop, Dubna, April 16–17, 2005. Dubna, 2007. P. 271–293.
40. *CMS Collab.* CMS Physics Technical Design Report. V.II: Physics Performance. CERN-LHCC-2006-021. 2006. 641 p.; J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2007. V. 34. P. 995–1579.
41. *Golutvin I.A. et al.* Search for New Neutral Gauge Bosons at LHC // Yad. Fiz. 2007. V. 70(1). P. 61–67.
42. *CMS Collab.* CMS Physics Technical Design Report Addendum: High Density QCD with Heavy Ions. CERN-LHCC-2007-009. 2007; Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2007. V. 34. P. 2307–2455.
43. *Golutvin I. et al.* Study of Forward-Backward Asymmetry in Drell-Yan Dimuon Production with the CMS Detector. CMS AN-2007/003. 17 p.
44. *Lanyov A., Shmatov S.* Studies of Drell-Yan Dimuon Events in the CMS Experiment. CMS-CR-2007-031; CERN-CMS-CR-2007-031. arXiv:0707.4151.

45. *Shmatov S.* Search for Extra Dimensions with the CMS Detector. CMS-CR-2007-032; CERN-CMS-CR-2007-032.
46. *Golutvin I. et al.* Measurement of a Spatial Resolution of the Hadron Endcap Calorimeter with CMS HCAL Test Beam 2003 Data // Письма в ЭЧАЯ (направлено).
47. *Golutvin I. et al.* Setting of Jet Energy Scale with Direct Photons at CMS // Письма в ЭЧАЯ (направлено).
48. *Kamenev A. Yu., Moisez P. V.* Calculation of the Electric Field at the Edge of the Operation Region of the Cathode Strip Chambers of CMS ME1/1 Station // Письма в ЭЧАЯ (направлено).
49. *Traczyk P. et al.* Search for New High-Mass Resonances Decaying to Muon Pairs in the CMS Experiment. CMS AN-2007/038.
50. *Belotelov I. I. et al.* Electromagnetic Secondaries and Punch-Through Effects in the CMS ME1/1 // Письма в ЭЧАЯ. 2007. Т. 4, №4(140).
51. *Golutvin I. A. et al.* Study of Anode Self-Trigger Ability of ME1/1 CMS Endcap Cathode Strip Chamber // Письма в ЭЧАЯ. 2007. Т. 4, №3(139). С. 428–433.
52. *Abramov V. et al.* Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters. CMS Note. 2007.
53. *Lanyov A., Shmatov S.* Studies of Drell–Yan Dimuon Events in the CMS Experiment // Hadron Collider Phys. Symp. La Biodola, Isola d’Elba, Italy, May 20–26, 2007.
54. *Shmatov S.* Search for Extra Dimensions with the CMS Detector // Ibid.
55. *Altsybeev I.* Dimuon Physics at CMS. Talk at the IX Intern. School-Seminar «The Actual Problems of Microworld Physics», Gomel, Belarus, July 23–Aug. 3, 2007.
56. *Gingrich D. M. et al.* Construction, Assembly and Testing of the ATLAS Hadronic End-Cap Calorimeter. ATLAS Note ATL-LARG-PUB-2007-009; J. Instrumentation (submitted).
57. *Ahmadov A. I. et al.* Measuring *C*-Odd Correlations at Lepton-Proton and Proton-Proton Collisions // J. Phys. G. Nucl. Part. Phys. 2007. V. 34. P. 353.
58. *Бозуславский И. В. и др.* Препринт ОИЯИ Р13-2007-129. Дубна, 2007.
59. *Davkov K. et al.* Development of Segmented Straws for a Coordinate Detector for Very High Rate Capability Operation // Nucl. Instr. Meth. A (submitted).
60. *Abbon P. et al.* The COMPASS Experiment at CERN // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 577, No. 3. P. 455–518.
61. *Salmin R. A. et al.* Talks at the LHE JINR Seminar on Relativistic Nuclear Physics, June 06, 2007.
62. *Strokovsky E. A. et al.* Talk at the Intern. Conf. «Hadron Structure 2007», Modra-Harmonia, Slovakia, 2007.
63. *Strokovsky E. A. et al.* Talk at the 20th Eur. Few Body Conf., Italy, Pisa, Sept. 10–14, 2007; Proc. of the Conf. (submitted).
64. *Zhabitsky V. M.* Transverse Emittance Blow-Up from Beam Injection Errors in Synchrotrons with Nonlinear Feedback Systems. JINR Preprint E9-2007-30. Dubna, 2007; Part. Nucl., Lett. (submitted).
65. *Bystritsky V. M. et al.* DViN — Stationary Setup for Identification of Explosives. JINR Commun. E18-2007-142. Dubna, 2007.