

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ им. В. П. ДЖЕЛЕПОВА

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В рамках проекта CDF главными результатами 2005 г. были лучшие в мире измерения массы топ-кварка и обеспечение эффективной работы установки. В выпусках «FNAL Today» от 21 апреля и 28 июля было объявлено, что группа JINR–INFN–FNAL внесла существенный вклад в определение массы топ-кварка в топологии «лептон + струи» $M_{\text{top}} = 173,5 + 3,7 / - 3,6(\text{стат.}) \pm 1,3(\text{сист.})$ [1, 2] (рис. 1, *a*) и улучшила точность измерения массы топ-кварка в дилептонной топологии $M_{\text{top}} = 169,9 + 9,2 / - 9,3(\text{стат.}) \pm 3,8(\text{сист.})$ [3–5]. Группой из Дубны и Афинского университета предложен новый метод по извлечению массы топ-кварка: поперечные моменты электронов и мюонов, получаемых в каналах

$t\bar{t} \rightarrow$ дилептон и $t\bar{t} \rightarrow$ лептон + струи, чувствительны к массе топ-кварка и могут быть точно измерены [6, 7] с малой систематической ошибкой, а при достаточной интегральной светимости — с очень малой общей ошибкой. На этот метод не влияют неопределенности шкалы энергий струй, он приемлем и для экспериментов, проводимых на тэватроне, и для будущих экспериментов на LHC.

В 2006 г. группа планирует существенно уменьшить ошибку для массы топ-кварка на уровне $2 \text{ ГэВ}/c^2$, что позволит определить новое ограничение на массу хиггс-бозона, измерить заряд топ-кварка для проверки состоятельности стандартной модели.

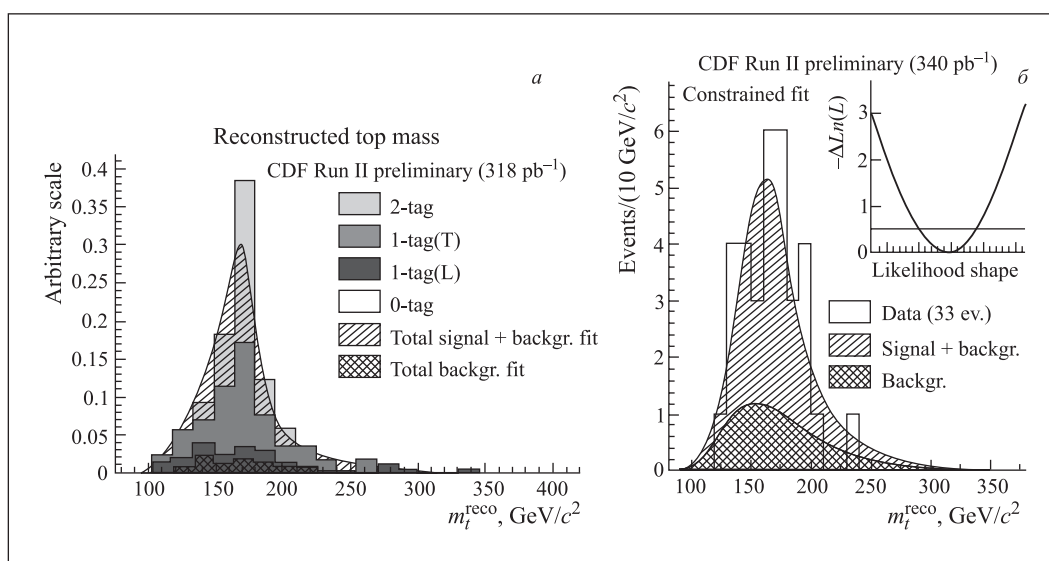


Рис. 1. Масса топ-кварка для моды «лептон + струи» (*a*) и для дилептонной моды (*б*)

В 2005 г. в эксперименте **D0** была набрана статистика, соответствующая 1 фб^{-1} . Группа из ОИЯИ активно участвовала в поддержке работы мюонной трекинговой системы, продолжала поиски χ_b -бариона, разрабатывала алгоритмы и изучала рождение прямых фотонов, нацеленное на калибровку энергетической шкалы струй и на определение функции распределения глюонов. Первый важный результат, полученный группой, — это измерение сечения изолированных фотонов.

При протон-антипротонных соударениях при высоких энергиях основным источником рождения фотонов со средним и высоким поперечным моментом являются прямые фотоны. Они называются прямыми из-за того, что рождаются непосредственно при партон-партонных взаимодействиях, а не от распада адронов (как π^0, η, K_S^0). Эти фотоны, появляющиеся из сильных взаимодействий, могут служить тестом для динамики рассеивания. Рождение прямых фотонов предусмотрено при глубоком неупругом рассеянии, при рождении пар в теории Дрелла-Яна и при рождении струй. Идентификация фотонов свободна от неопределенностей, вызванных фрагментацией партонов в адроны или условиями эксперимента, связанными с идентификацией струи или измерениями энергии, и, таким образом, имеет преимущество перед измерениями рождения струй. В области выше $p_T^\gamma \cong 150 \text{ ГэВ}$ прямые фотоны рождаются из комптоновского рассеяния $qg \rightarrow q\gamma$, поэтому площадь сечения процесса чувствительна к плотности глюонов внутри взаимодействующих адронов. Высокая энергия в центре масс на тэватроне и статистика, набранная в Run II, позволяет протестировать квантовую хромодинамику и распределение глюонов в области с большим Q^2 в широком диапазоне x_T : $0,02 < x_T < 0,30$. Измерения площади изолированного поперечного сечения фотонов также позволяет протестировать следующий за лидирующим порядком КХД и КХД-расчеты, феноменологическую модель излучения, изучить процесс изоляции фотонов и фрагментации. Кроме того, конечное состояние фотонов может быть важным признаком новой физики или физики за пределами стандартной модели. Поэтому необходимо изучить и понять традиционный источник фотонов. К сожалению, эти измерения сложны при наличии энергетически нейтральных мезонов, порождаемых в центре адронных струй, что дает мнимый фотонный сигнал. Однако правила отбора (включая изоляцию фотонов) и разработанный метод идентификации позволяют избавиться от фоновых явлений и зарегистрировать фотонный сигнал с хорошей точностью.

В эксперименте измерено поперечное сечение рождения фотонов в широком диапазоне фотонного поперечного момента p_T^γ : $23 < p_T^\gamma < 300 \text{ ГэВ}$ (рис. 2), что в 2,5 раза превышает предыдущие аналогичные измерения. При этом площадь поперечного сечения уменьшилась более чем на пять поряд-

ков. Неопределенности измерений сравнимы с существующими теоретическими предсказаниями. Сделан вывод, что найденное фотонное поперечное сечение совпадает с теоретическими предсказаниями во всем диапазоне для поперечных моментов с учетом неопределенностей. Сейчас имеется пять событий с поперечным моментом, большим чем 300 ГэВ (которые не были использованы в анализе), но из-за увеличения светимости тэватрона появилась надежда получить большую статистику в ближайшие 2–3 года [8]. Это позволит изучить район $p_T^\gamma \cong 500\text{--}600 \text{ ГэВ}$ и проверить предсказания стандартной теории, а также искать следы новой физики.

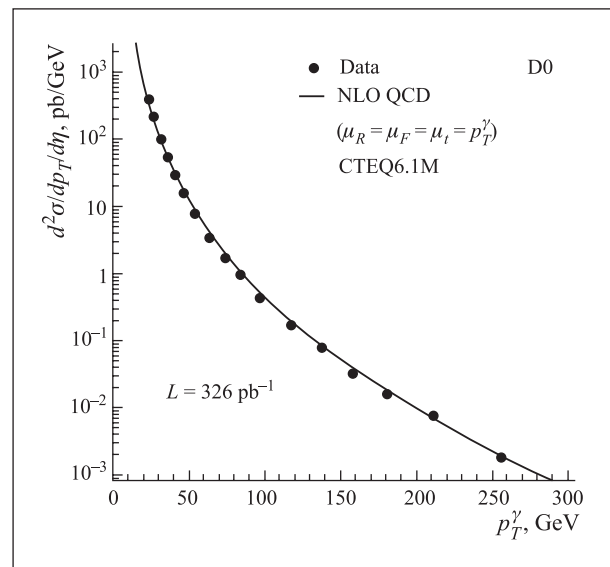


Рис. 2. Поперечное сечение рождения изолированных фотонов как функция поперечного момента. Результаты расчетов в следующем за лидирующим порядке пертурбативной КХД показаны сплошной линией

В эксперименте **HARP** получены новые данные для поперечного сечения рождения положительных пионов в канале транспортировки K2K [13]. Нейтринный пучок рождается из распада легких адронов, получаемых из облучения алюминиевой мишени протонным пучком с энергией $12,9 \text{ ГэВ}/c$.

Отслеживание частиц происходит в больших ($3 \times 3 \text{ м}$) дрейфовых камерах (NDC). 23 таких камеры установлены до и после поворотного магнита (с полем $0,5 \text{ Тл}$). Данные рождения положительных пионов были профитированы с помощью параметризации Санфорда-Ванга. Данные эксперимента (точки) и фита (гистограмма) представлены на рис. 3. Был проведен детальный анализ ошибок. Полная неопределенность для сечения рождения пионов, измеренная в полном фазовом пространстве ($0,75 < p < 6,5 \text{ ГэВ}/c$ и $30 < \theta < 210 \text{ мрад}$), равна 5% .

Измерения поперечного сечения были использованы для определения нового предсказания для отношения нейтринных потоков в ближнем и дальнем

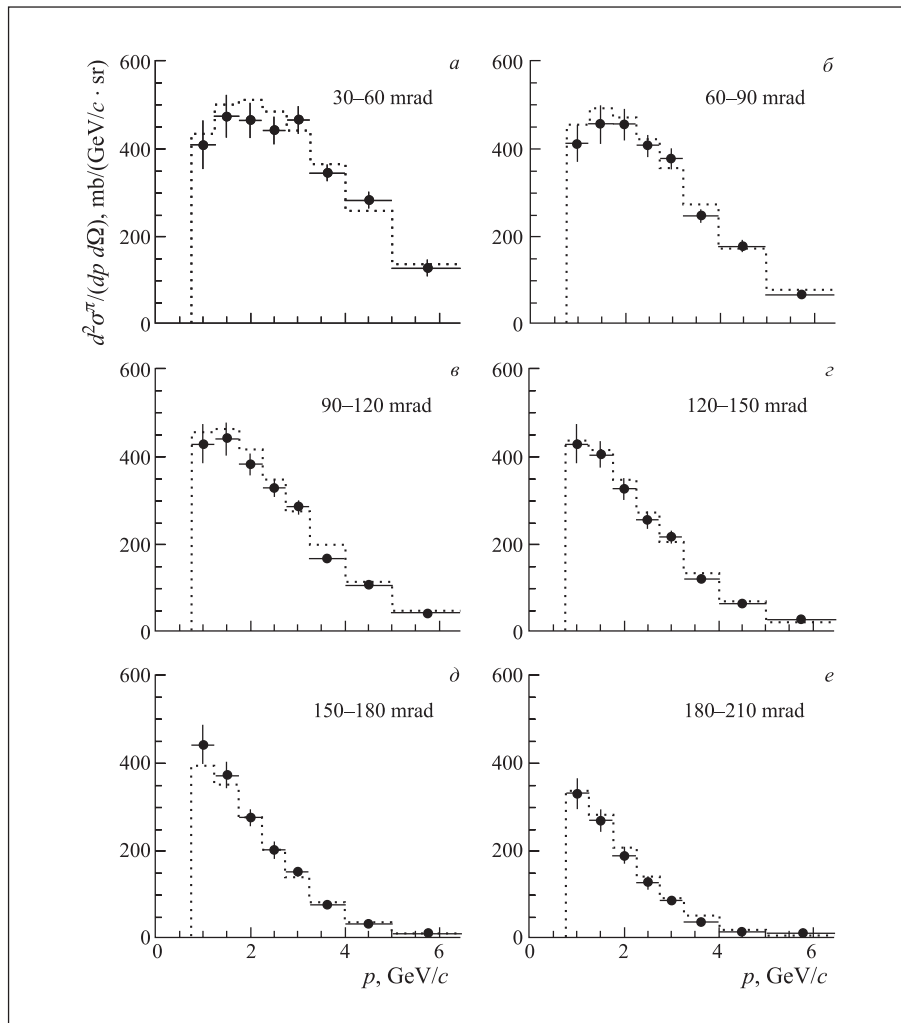


Рис. 3. Измерения дифференциального сечения рождения положительных пионов для взаимодействия протонного пучка с энергией 12,9 ГэВ/с с алюминиевой мишенью как функция момента пионов в бинах пионного полярного угла

детекторах эксперимента K2K. Эта величина определяется как отношение потоков в отсутствие нейтринных осцилляций. На рис. 4, 5 показана энергетическая зависимость предсказанного отношения на основе данных HARP по сравнению с отношением, использованным в K2K-коллораации. В будущем более точные измерения отношения будут использоваться для уменьшения ошибки параметров нейтринных осцилляций.

В 2006 г. коллаборация планирует измерить поперечное сечение рождения адронов при столкновении протонов с энергией 8,9 ГэВ/с с бериллиевой мишенью для MiniBooNe эксперимента в Национальной лаборатории им. Э. Ферми, измерить передний пионный спектр и спектр с большим углом для протонов с энергией 8 ГэВ/с при столкновении с талиевой мишенью для разработки протонного драйвера проекта нейтринной фабрики, измерить спектр пионов при взаимодействии протонов с энергией 1,5 ГэВ/с с водяными мишенями, коллаборация также попробует объяснить аномалию антинейтринного сигнала, объявленную коллаборацией LSND.

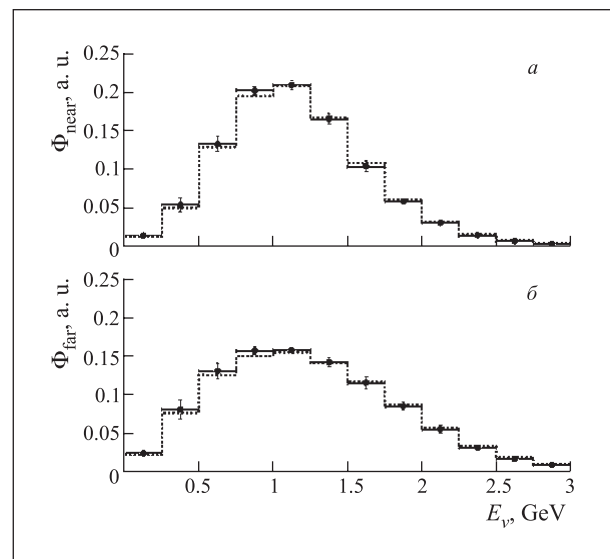


Рис. 4. Предсказания для потока, нормализованного на площадь, для ближнего (а) и дальнего (б) детектора. Предсказания адронной модели (точечная гистограмма) и измерения (кружки)

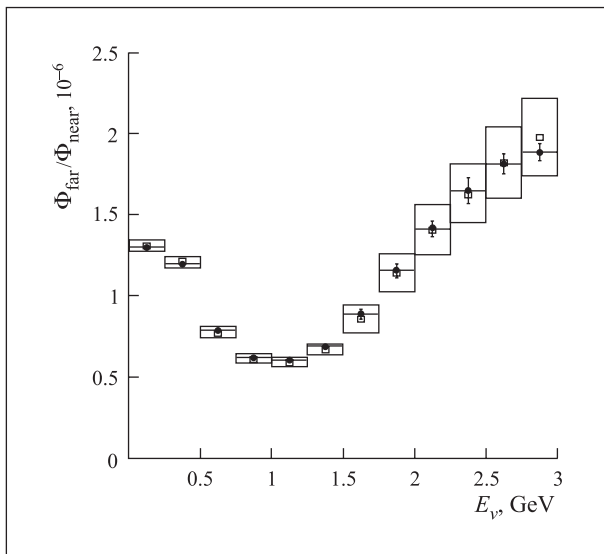


Рис. 5. Нейтринные потоки как функция энергии нейтрино, кружки — измерения

В рамках эксперимента **DIRAC** при помощи новых улучшенных программ и констант были переработаны данные, полученные в период 2001–2003 гг. Пересмотрена схема установки, включая размеры всех детекторов с учетом кинематики $\pi^\pm K^\mp$ -атомов и системы идентификации частиц. В ОИЯИ был разработан и изготовлен новый вакуумный канал. Разработана новая электроника, которая используется всеми сцинтилляционными детекторами, изготовлены фотоумножители. Были проведены измерения процесса многократного рассеяния в тонких рассеивателях. Восстановлено 60 % всех дрейфовых камер, остальные камеры будут восстановлены к 2006 г. Проведено исследование рождения долгоживущего состояния $\pi^+\pi^-$ -атомов [9]. Был разработан новый сцинтилляционный проволочный детектор с диаметром проволочек 0,27 мм, изготовлен его электронный прототип. Также был разработан черенковский счетчик на тяжелом газе для идентификации пионов. Проходит разработка новой триггерной системы.

В 2006 г. планируется провести анализ всех данных для времени жизни, набранных в 2000–2003 гг., с точностью около 10 % для Ni- и Ti-мишеней, оценку систематических ошибок времени жизни, планируется изготовить детекторы и электронику для модернизации установки, установить новые детекторы, триггеры, DAQ-систему. Готовится первый набор данных с новой установкой для калибровки и набор данных для наблюдения $\pi^+\pi^-$ -атомов в долгоживущем состоянии.

Для адронного тайл-калориметра **ATLAS** особое внимание было уделено исследованиям и разработкам, а также качеству методов контроля разработанной в ОИЯИ лазерной метрологии для достижения высокой точности при сборке основных структур калориметра, подмодулей и модулей.

С целью проверки шкалы электромагнитной энергии тайл-калориметра **ATLAS** и для понимания его отклика 12 % модулей были облучены электронными пучками с различной энергией и под различными углами (сканирование по ячейкам под углом $\theta = 20^\circ$ в центре, η -сканирование и сканирование по тайлам под углом $\theta = 90^\circ$ для боковых ячеек модуля). Работа группы из ОИЯИ направлена на определение калибровочных констант электромагнитной энергии EBM– (ANL-44), EBM+ (IFA-42), BM (JINR-55) модулей калориметра при энергиях 10, 20, 50, 100 и 180 ГэВ для различного сканирования на основе данных, полученных в июле 2002 г., с использованием методов плоского фильтра [10] и подгоночного фильтра [11] реконструкции РМТ-сигнала. При использовании метода плоского фильтра были получены следующие калибровочные константы: для сканирования по ячейкам под углом $\theta = 20^\circ$ $1,157 \pm 0,002$, RMS = $(2,6 \pm 0,2) \%$, для сканирования по тайлам под углом $\theta = 90^\circ$ $1,196 \pm 0,005$, RMS = $(5,7 \pm 0,3) \%$, для η -сканирования $1,143 \pm 0,005$, RMS = $(3,7 \pm 0,3) \%$. Для метода подгоночного фильтра константы были следующие: для сканирования по ячейкам под углом $\theta = 20^\circ$ $1,046 \pm 0,002$, RMS = $(3,0 \pm 0,2) \%$, для сканирования по тайлам под углом $\theta = 90^\circ$ $1,082 \pm 0,004$, RMS = $(5,3 \pm 0,3) \%$, для η -сканирования $1,046 \pm 0,004$, RMS = $(3,8 \pm 0,3) \%$. Из данных также были получены разрешения электронной энергии для модулей калориметра для энергий 10, 20, 50, 100 и 180 ГэВ [12]. Параметры для квадратичного фита разрешения электронной энергии равны $a = (29 \pm 1,6) \% \sqrt{\text{ГэВ}}$, $b = (3,0 \pm 0,4) \%$ для $\theta = 20^\circ$, $a = (22 \pm 1) \% \sqrt{\text{ГэВ}}$, $b = (2,3 \pm 0,3) \%$ для $\theta = 90^\circ$. Наблюдается хорошее согласие для параметризации, полученной линейной подгонкой по методу Монте-Карло. Полученные калибровочные константы включены в калибровочную базу данных калориметра, программное обеспечение будет использовано для калибровки энергии.

В рамках проекта **SANC** разрабатывается новое программное обеспечение для расчетов распадов $F \rightarrow 3f$ и процессов $f\bar{f} \rightarrow b\bar{b}$ на однопетлевом уровне, для CC- и NC-процессов Дрелла–Яна на LHC, для реализации мягкого и жесткого вклада тормозного излучения в различных $2 \rightarrow 2$ -процессах.

SANC версия v1.00 доступна на серверах в Дубне и ЦЕРН <http://sanc.jinr.ru/> (159.93.75.10), <http://pcphsanc.cern.ch/> (137.138.180.42). Система начинает широко использоваться для физических приложений. В работе [14] с помощью системы SANC пересмотрены однопетлевые электрослабые поправки к процессам типа Дрелла–Яна для LHC. Исследуется вопрос о точности теоретических предсказаний. В работе [15] описана реализация процессов $f_1 \bar{f}_1 ZZ \rightarrow 0$ и $f_1 \bar{f}_1 HZ \rightarrow 0$ в среде SANC (f_1 означает безмассовый фермион, чья масса удерживается только в рамках \log , $\rightarrow 0$ означает, что все 4-импульсы втекают в диаграмму).

В 2006 г. система SANC будет расширяться на более сложные процессы. В частности, планируется завершить расчеты распада $H \rightarrow 4\mu$ в каскадном приближении, реализовать ряд КХД-процессов. Также планируется завершить расчеты распада $H \rightarrow 2\mu 2\nu$ в каскадном приближении, реализовать процессы $f\bar{f} \rightarrow HW$, $gg \rightarrow BB$, $\gamma\gamma \rightarrow BB$ ($BB = Z, \gamma, H, W$), создать среду для однопетлевых процессов $5 \rightarrow 0$ и применить ее к расчету распада $H \rightarrow 4f$ вне рамок каскадного приближения.

Космический эксперимент ТУС направлен на решение наиболее важных астрофизических задач. Он нацелен на измерения энергетического спектра, состава и углового распределения космических лучей сверхвысоких энергий при $E \approx 10^{19} - 10^{20}$ эВ. Стадия исследований и разработок подходит к концу. В настоящее время тестируются первые прототипы детектора, разрабатывается зеркальный космический концентратор. Запуск спутника «Татьяна» использовался для теста фотосенсоров и электроники для измерения UV-света, излучающегося в атмосферу. Спутник был запущен 20 января 2005 г. Энергетическое разрешение флуоресцентных детекторов связано с неопределенностями в размерах его выработки. В данный момент коллаборация выполняет измерения выработки флуоресцентного света.

В 2006 г. коллаборация планирует завершить разработку зеркала Френеля для прототипа ТУС, а также специального инструмента для измерений с помощью этого зеркала.

Целью проекта NUCLEON являются прямые измерения атмосферных ливней в районе энергий $10^{11} - 10^{15}$ эВ и в районе зарядов ядер до $Z \approx 40$

в околосемном пространстве для решения важных проблем спектра атмосферных ливней. Особенно интересен поиск сигнала рождения тяжелых частиц с массой около 0,5 ТэВ, а также легких и стабильных SUSY- или WIMP-частиц для понимания аспекта темной материи. Закончена разработка и изготовление первого полномасштабного двухстороннего триггерного модуля для триггерной системы NUCLEON. Второй прототип находится в процессе разработки.

В 2006 г. планируется разработать, изготовить и протестировать триггерную систему прототипа детектора, разработать программное обеспечение для этой системы, разработать, изготовить и протестировать прототип FE-электроники для триггерной системы.

Эксперимент «Гиперон» нацелен на изучение влияния ядерной прозрачности на атомный номер и эффект экранировки цвета в мезон-ядерных реакциях с образованием нейтральных мезонов в конечном состоянии. Была разработана новая система сбора данных, которая позволила получать данные с высокой скоростью. Это означает, что теперь можно зафиксировать практически все события в триггере. Система сбора данных была протестирована на калориметре в декабре 2004 г.

Тогда же был начат набор данных без использования пропорциональных камер и триггерной системы. Было получено около $1,8 \cdot 10^7$ событий с Be-, Al- и Cu-мишенями. Сделан анализ, из которого стало ясно, что необходимо установить более жесткие триггерные условия для понижения фона. Полученных данных недостаточно для информации об A-зависимости по ядерной прозрачности.

ФИЗИКА НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ

Детектор NEMO-3, расположенный в подземной лаборатории Modane (LSM, Франция, 4800 м), создан для поиска двойного безнейтринного бета-распада ($0\nu\beta\beta$), который является одним из показателей наличия новой физики за пределами стандартной модели. Изучение $0\nu\beta\beta$ -распада — уникальный путь решения фундаментальных проблем шкалы абсолютных нейтринных масс, природы нейтрино (или дираковское описание, или майорановское) и иерархии нейтрино. Главная особенность проекта NEMO — чувствительность на уровне 0,1–0,3 эВ к эффективной массе нейтрино $\langle m_\nu \rangle$ ($T_{1/2}^{0\nu\beta\beta}(^{100}\text{Mo}) \sim 10^{25}$ лет).

В 2005 г. детектор NEMO-3 работал в регулярном режиме при стабильных условиях. Из набранной статистики (236 дней с начала 2005 г.) исключен радоновый фон. Полное время экспозиции составило 762 дня (с февраля 2003 г.).

В течение 2005 г. проводился анализ первой фазы эксперимента [19]. После анализа набранных за 389

дней данных не было обнаружено следов двойного безнейтринного бета-распада ни для ^{100}Mo , ни для ^{82}Se в следующих пределах (рис. 6):

$$T_{1/2}^{0\nu\beta\beta}(^{100}\text{Mo}) \geq 4,6 \cdot 10^{23} \text{ лет} \Rightarrow \langle m_\nu \rangle \leq 0,7 - 2,8 \text{ эВ},$$

$$T_{1/2}^{0\nu\beta\beta}(^{82}\text{Se}) \geq 1,0 \cdot 10^{23} \text{ лет} \Rightarrow \langle m_\nu \rangle \leq 1,7 - 3,2 \text{ эВ}.$$

NEMO-3 чувствителен и к другим возможным механизмам двойного безнейтринного бета-распада. В предположении существования глюино или обмена нейтралити получено ограничение на трилинейную, нарушающую четности, константу связи в ^{100}Mo : $\lambda_{111} < 1,6 \cdot 10^{-4}$. При предположении существования слабого правого тока с 90%-м уровнем достоверности получено ограничение на время полураспада $T_{1/2}^{0\nu 2\beta}(^{100}\text{Mo}) = 1,7 \cdot 10^{23}$ лет, соответствующее $\lambda < 2,5 \cdot 10^{-6}$. Был проведен анализ $2\nu\beta\beta$ -моды двойного бета-распада (рис. 7). Была оценена чувствительность детектора с учетом промеренного

фона. За 5 лет набора данных (до 2009 г.) предполагаемая чувствительность с 90%-м уровнем достоверности даст $T_{1/2}^{0\nu 2\beta}(^{100}\text{Mo}) \geq 2,0 \cdot 10^{24}$ лет, $\langle m_\nu \rangle \leq 0,3-1,3$ эВ, что соответствует цели про-

екта и находится на уровне лучшего мирового результата, полученного до сих пор. Параллельно идут научно-исследовательские и конструкторские разработки SuperNEMO-проекта.

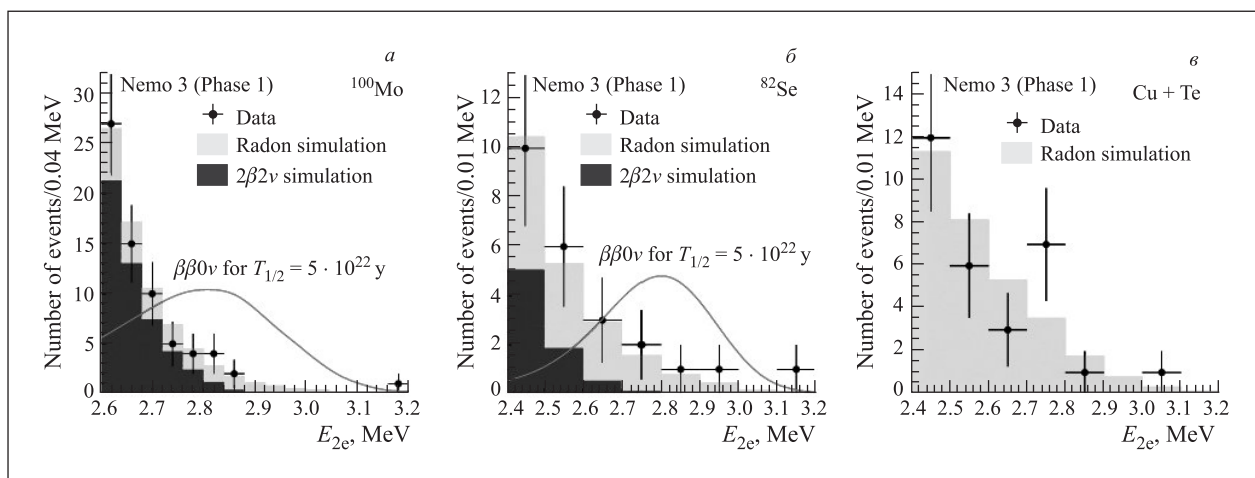


Рис. 6. Спектр суммарной энергии двух электронов в $0\nu\beta\beta$ за 389 дней набора данных с февраля 2003 г. по сентябрь 2004 г.: а) с 6,914 кг ^{100}Mo ; б) с 0,932 кг ^{82}Se ; в) с медной и теллуриевой фольгами. Гистограммы — предполагаемый фон, рассчитанный по методу Монте-Карло: черный — $2\nu\beta\beta$ -вклад, светлый — вклад радона. Сплошная линия соответствует ожидаемому $0\nu\beta\beta$ -сигналу, если $T_{1/2}^{0\nu 2\beta} = 5 \cdot 10^{22}$ лет

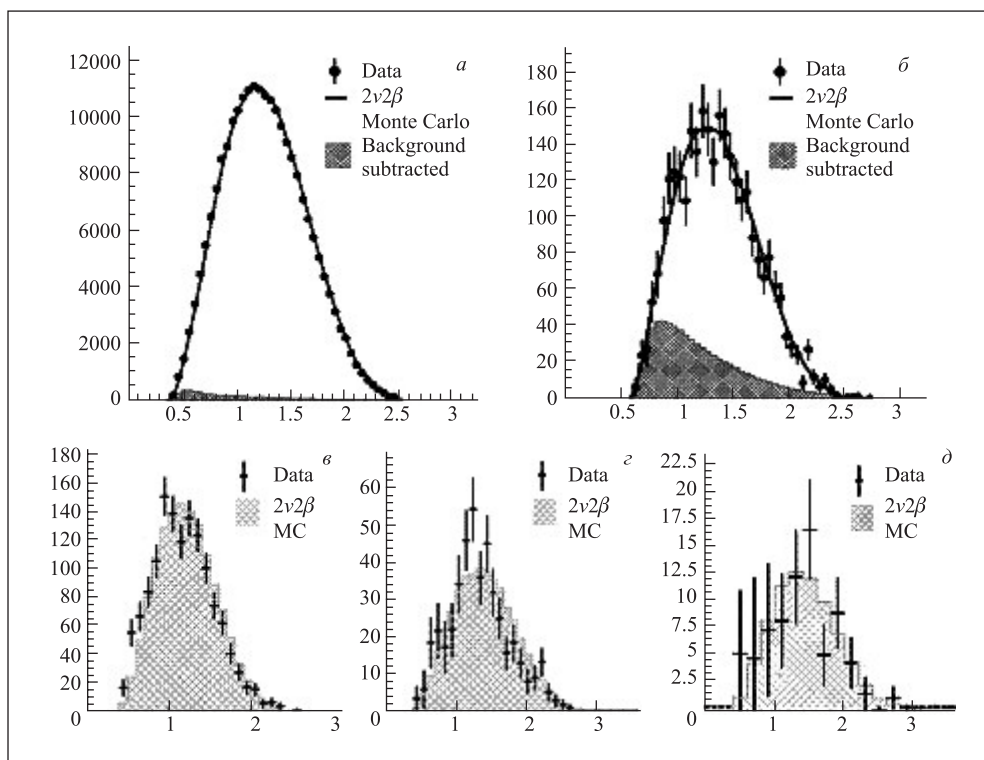


Рис. 7. Спектр суммарной энергии двух электронов в $2\nu\beta\beta$ -распаде ряда изотопов. Точки соответствуют экспериментальным данным, светлая гистограмма — смоделированный ожидаемый $2\nu\beta\beta$ -сигнал, фон — темная гистограмма. По оси x — энергия в МэВ, по оси y — количество событий: а) в ^{100}Mo при экспозиции 7,37 1/кг/год, 219000 событий, отношение сигнала к фону 40; б) в ^{82}Se при экспозиции 1,0 1/кг/год, 2750 событий, отношение сигнала к фону 4; в) в ^{116}Cd при экспозиции 0,2 1/кг/год, 1371 событий, отношение сигнала к фону 7,5; г) в ^{150}Nd при экспозиции 17 1/кг/год, 449 событий, отношение сигнала к фону 2,8; д) в ^{96}Zr при экспозиции 4,3 1/кг/год, 72 события, отношение сигнала к фону 0,9

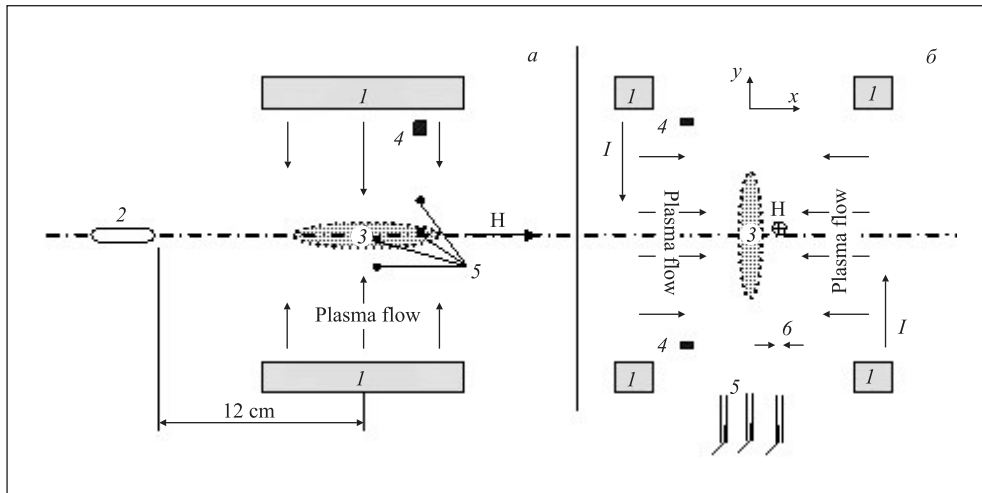


Рис. 8. Схема экспериментальной установки в двух проекциях: а) вид вдоль В-поля; б) вид сбоку по нормали к В-полю. 1 — высоковольтные электроды разрядного промежутка; 2 — спектрометр; 3 — область столкновения встречных плазменных потоков; 4 — электроды для измерения разности потенциалов на границах потоков; 5 — коллиматоры оптических детекторов; 6 — плавающие зонды

В 2006 г. коллаборация планирует продолжить набор данных, обратив особое внимание на улучшение чувствительности, опубликовать результаты $2\nu\beta\beta$ -перехода в возбужденные состояния ^{100}Mo , $2\nu\beta\beta$ -моды двойного бета-распада ^{48}Ca и других изотопов. На SuperNEMO группой из ОИЯИ будут проведены конструкторские работы на калориметре и тестирование новых пластиковых сцинтилляторов. Предполагается улучшить энергетическое разрешение калориметра до 7% на 1 МэВ (на NEMO-3 разрешение 15–17%), это наиболее важная конструкторская задача. Другие задачи включают в себя тестирование уровня радона, разработку программного обеспечения и исследования с целью нахождения оптимального дизайна модулей SuperNEMO.

Исследование сильных взаимодействий между легкими ядрами при ультранизких энергиях весьма актуально. Повышенный интерес к изучению таких процессов обусловлен возможностью проверки фундаментальных симметрий в сильном взаимодействии; получения информации об обменных мезонных токах; получения информации о величине эффекта электронной экранировки взаимодействующих ядер; решения ряда проблем, существующих в астрофизике. В настоящее время коллаборация LESI выполняет в Научно-исследовательском институте ядерной физики ТГУ (Томск) исследования по генерации сталкивающихся плазменных потоков в астрофизической области энергий (\sim кэВ), а также проводит эксперименты по изучению ядерных реакций при ультранизких энергиях (рис. 8). Показано, что эффективность преобразования энергии, вводимой в разряд, в направленное движение плазменных потоков, составляет 0,3–0,6, а полное число ускоренных частиц в потоках составляет 10^{19} частиц/импульс.

Кроме этого, коллаборация проводит работы по созданию нового типа плазменного ускорителя, базирующегося на холловском источнике ионов, позволяющем генерировать интенсивные плазменные потоки ($I = 10 \text{ A/cm}^2$) с небольшим разбросом ионов по энергии. Это позволит получить более прецизионную информацию о характеристиках ядерных реакций в области ультранизких энергий. Отличительной особенностью предложенных методов изучения сильных взаимодействий в области ультранизких энергий является то, что становится вполне реальным измерение астрофизических S -факторов и сечений ядерных реакций на уровне 10^{-33} – 10^{-37} см^2 [20, 21].

В 2006 г. коллаборация планирует создать холловский ускоритель и прецизионно изучить зависимости сечения и астрофизического S -фактора pd -реакции от энергии столкновения в интервале 2–12 кэВ. Также планируется измерение характеристик dd -реакции в астрофизической области энергий столкновения дейтронов с использованием встречных потоков дейтериевой плазмы.

В 2005 г. проводился анализ экспериментальных данных по радиационному распаду пиона (РРП), полученных коллаборацией PИВЕТА в 2004 г. в специальном эксперименте. Необходимость этого нового эксперимента была вызвана тем, что в работе 1999–2001 гг. для РРП в кинематической области, определяемой углами между гамма-квантом и позитроном $\theta_{\gamma,e} > 40^\circ$, энергиями гамма-квантов $E_\gamma > 55,6 \text{ МэВ}$ и энергиями позитронов $E_e > 20 \text{ МэВ}$ (область В), было зарегистрировано на $\sim 20\%$ меньше событий РРП, чем ожидалось согласно стандартной модели.

Новые данные были получены на пучке пионов PSI при интенсивности остановок 50–100 кГц.

Такая интенсивность обеспечила уменьшение фона случайных совпадений примерно на порядок по сравнению с работой 1999–2001 гг., посвященной исследованию бета-распада пиона (данные по РПП были попутными). С целью получения более надежных результатов коллаборация приняла решение провести анализ новых данных независимо двумя группами

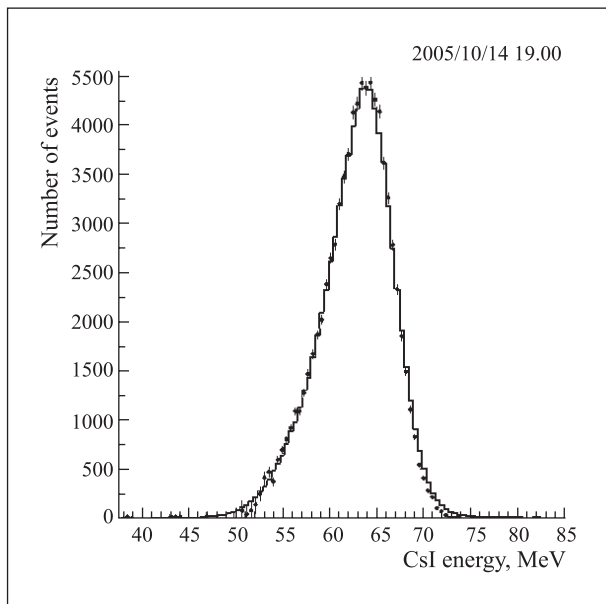


Рис. 9. Спектр позитронов от распада $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu$. Сплошная кривая — расчет методом Монте-Карло

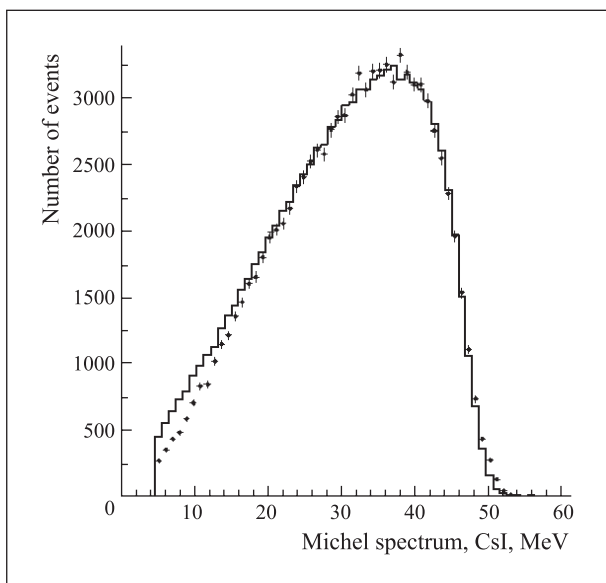


Рис. 10. Спектр позитронов от распада $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu \bar{\nu}$. Сплошная кривая — расчет методом Монте-Карло

физиков (из Вирджинии (США) и из Дубны). Ранее физики Дубны такой анализ не проводили. Надо отметить, что анализ данных представляет собой очень тонкую и трудоемкую работу, требующую предельно точного учета огромного количества факторов. За

отчетный период коллаборация провела предварительную обработку и анализ всей экспериментальной статистики по РПП, соответствующей $\sim 6,12 \cdot 10^{11}$ остановок пионов. Изучены процессы $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu$ и $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu \bar{\nu}$, являющиеся калибровочными для распада $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$ [22]. Проанализировано ~ 240000 распадов $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu$. Распределение энергий позитронов в этом распаде приведено на рис. 9. На рис. 10 показан измеренный спектр позитронов в распаде $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu \bar{\nu}$. Видно, что измеренные спектры хорошо совпадают с расчетными. Найдено 17085 распадов РПП. Из них 7261 событие — в кинематической области В, где ранее наблюдался дефицит событий. Когда энергия регистрируемых гамма-квантов ограничивается на уровне ~ 60 МэВ, наблюдается дефицит событий $\sim 11\%$ при статистической точности измерения $\sim 2\%$. Следует подчеркнуть, что анализ данных еще не закончен, результаты предварительные и говорить о наличии или отсутствии дефицита еще рано. Количество событий, идентифицированных как распад $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu$, определяется степенью адекватности моделирования реальных процессов, точностью определения калибровочных параметров, эффективностью подавления фона. От совершенства этих процедур зависит величина систематических ошибок, определяющих, в конечном счете, точность эксперимента. Работа в этом направлении продолжается.

В 2006 г. будут продолжены работы по максимально точному анализу экспериментальных данных по радиационному распаду пиона, полученных в 2004 г. Предполагается провести работы по усовершенствованию установки и оптимизации пучка пионов с целью проведения исследования распадов $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu$ и $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$ с еще большей точностью.

В рамках проекта «Катализ» в плане анализа данных по D-T-катализу завершена статья [23]. В рамках программы по обработке данных по T-T-катализу получены первые предварительные результаты, проводится обработка независимым способом. На рис. 11 приведены экспериментальные временные распределения первых и вторых регистрируемых нейтронов катализа. В ходе подготовки эксперимента по исследованию процесса радиационного захвата дейтрона в $dd\mu$ -молекуле смонтирован уникальный детектор γ -квантов, включающий в себя кристалл ВСО диаметром 130 мм и высотой 60 мм, помещенный (для подавления фона) внутри пластикового сцинтиллятора. Разработана конструкция дейтериевой мишени высокого давления.

В 2006 г. планируется завершить обработку данных по T-T-катализу с целью получения параметров μ -катализа в тритии и сведений о механизме реакций с учетом возможных $n-n$ - и $n-\alpha$ -корреляций; провести работы по комплексному исследованию параметров детектора гамма-квантов (программы анализа, калибровка и форма линии, эффективность подавления внешнего фона).

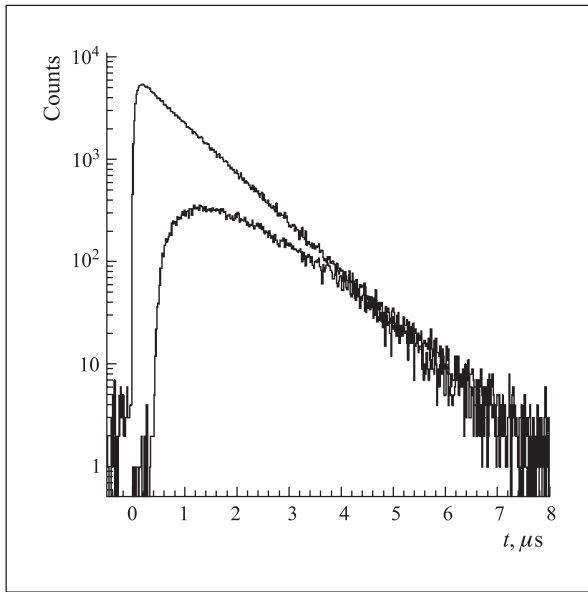


Рис. 11. Временное распределение первых и вторых зарегистрированных нейтронов от Т-Т-катализа

На спектрометре ANKE (COSY, Юлих) измерена угловая зависимость векторной анализирующей способности в реакции $p \uparrow + d \rightarrow (pp)_s + n$ при 0,5 и 0,8 ГэВ [24]. Отбирались протонные пары $(pp)_s$ с кинетической энергией относительного движения меньше 3 МэВ, что определяет 1S_0 -состояние пар. Кинематика регистрации этой квазибинарной реакции была аналогична кинематике упругого pd -рассеяния назад. Это обеспечивало при энергиях 0,5–2,0 ГэВ высокие передачи импульса и возможность исследования взаимодействия на малых расстояниях в трехнуклонной системе. Регистрация изотриплетного состояния нуклонной пары конечного состояния вместо изосинглетного в упругом pd -рассеянии существенно упрощает динамику процесса [25]. Это делает процесс предпочтительным при исследовании границ применимости традиционного мезон-нуклонного описания и поиске проявления КХД-степеней свободы при взаимодействии малонуклонных систем. Мезон-нуклонная модель $ONE + \Delta + SS$ была найдена способной к описанию энергетической зависимости спин-усредненного дифференциального сечения в интервале 0,6–1,9 ГэВ [26], но она не воспроизводит поляризационные данные. Требуется более детальная информация о спиновой структуре механизма возбуждения Δ -изобары в промежуточном состоянии процесса. В этом отношении планируемое в 2006 г. на ANKE измерение дейтронной тензорной анализирующей способности может дать более определенное заключение о применимости мезон-нуклонного описания pd -взаимодействия на малых расстояниях. Такие эксперименты будут проведены с помощью струйной мишени поляризованных дейтронов, которая установлена на ANKE в 2005 г.

Поиск двойного электронного захвата в распаде ^{106}Cd проводится в Моданской подземной лаборатории (4800 м.в.э.) (Франция) с использованием высокоэффективного низкофонового спектрометра TGV-2 (телескоп германиевый вертикальный). Основу спектрометра составляют 32 планарных детектора из особо чистого Ge с чувствительным объемом $2040 \text{ мм}^2 \times 6 \text{ мм}$ каждый (около 3 кг Ge). Фольги из Cd толщиной $\sim 50 \text{ мкм}$ были помещены в криостат между входными окнами соседних детекторов. Набор основной статистики был начат в феврале 2005 г. с использованием 10 г ^{106}Cd с обогащением 75%. Эксперимент по поиску двойного электронного захвата в распаде ^{106}Cd продолжается и в настоящее время. В результате 6200 ч измерений в спектре двойных совпадений ^{106}Cd было обнаружено небольшое превышение фона в области энергий $\sim 21 \text{ кэВ}$ (рис. 12). Это может указывать на

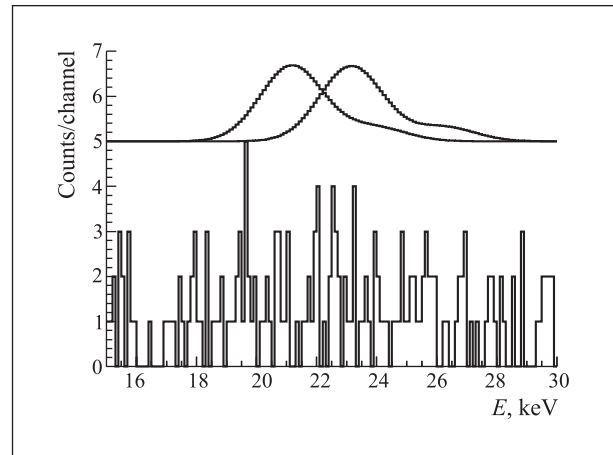


Рис. 12. Спектр двойных совпадений ^{106}Cd , набранных за 6200 ч экспозиции

существование процесса двойного электронного захвата в распаде ^{106}Cd . Для тщательного анализа этих событий необходима большая статистика и проведение высокоточных измерений фона. Действительно, возникающий дополнительный фон в области энергий $\sim 23 \text{ кэВ}$, вызванный характерным рентгеновским излучением К-уровня Cd, уменьшает чувствительность измерений. Из результатов предварительной обработки экспериментальных данных получено новое ограничение на период полураспада для $2\nu EC/EC$ -моды распада ^{106}Cd на основное состояние дочернего ядра — $T_{1/2} > 6,6 \cdot 10^{19}$ лет (на 90%-м уровне достоверности). Настоящее значение более чем на порядок улучшает ограничения, полученные в других экспериментах. Новое ограничение близко к теоретическим предсказаниям для двойного электронного захвата ^{106}Cd . Были получены также и новые ограничения для других ветвей ^{106}Cd -распада — $2\nu\beta^+/EC$ -распада на основное состояние ^{106}Pd , $2\nu EC/EC$ и $2\nu\beta^+/EC$ -переходов на первое возбужденное состояние 2^+ , 512 кэВ ^{106}Pd [27].

В начале 2006 г. измерения ^{106}Cd будут закончены. После их завершения будет проведено измерение фона с аналогичными образцами натурального Cd. Затем на TGV-2 начнется изучение двойного бета-распада ^{48}Ca .

DUBTO — совместный проект ОИЯИ и INFN по изучению пион-ядерных взаимодействий при энергиях ниже Δ -резонанса. Используемая экспериментальная установка «Стример» является самошунтирующейся стримерной камерой, наполненной гелием, находящейся в магнитном поле, которая была размещена на пионном пучке ~ 100 МэВ фазотрона ЛЯП ОИЯИ, интенсивность пучка была $(1-5) \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$. Полное количество событий $\pi^{\pm 4}\text{He}$, полученное во время работы, около 25000, из них 3000 событий были обработаны. Главные физические результаты, полученные коллаборацией [28, 29], состоят в первом наблюдении явления тормозного излучения положительных пионов на ядрах гелия, определении площади поперечного сечения этой реакции, измерении распределения инвариантной массы $M_{pp\pi^{\pm}}$ в реакции распада $\pi^{\pm 4}\text{He}$, измерении распределения инвариантной массы $M_{pp\pi^-}$ в реакциях взаимодействия положительных пионов с тяжелыми ядрами (^{107}Ag , ^{109}Ag) в ядерной фотоэмульсии, наблюдении существования так называемого d' -резонанса (рис. 13), определении верхнего предела массы мюонного нейтрино ($m_{\nu} < 2,2$ МэВ) с 90%-м уровнем достоверности. Это наименьшее значение, полученное на де-

текторе с прямым наблюдением с использованием измерений прямых кинематических и динамических параметров распада $\pi \rightarrow \mu\mu$.

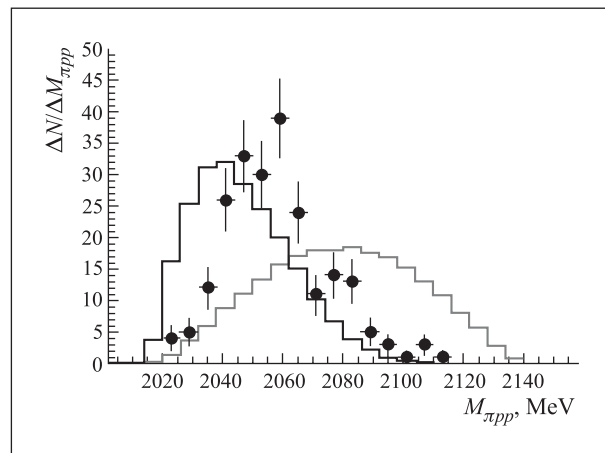


Рис. 13. Распределение инвариантных масс $pp\pi^-$, измеренный спектр представлен точками

В 2006 г. коллаборация планирует восстановить спектрометр, поврежденный пожаром в апреле 2005 г., выполнить набор данных с пионным пучком, продолжить измерения и обработку, улучшить результаты для измерений d' -резонанса, тормозного излучения пионов, поглощения пионов.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Как было показано коллаборацией «Фаза» [30, 31], тепловая мультифрагментация горячих ядер характеризуется двумя параметрами объема (или плотности). Это было сделано путем анализа экспериментальных данных, полученных с помощью 4π-установки «Фаза» для $p(8,1 \text{ ГэВ}) + \text{Au}$ -соударений (на пучке нуклотрона). При анализе была использована статистическая модель мультифрагментации (СММ). Отметим, что традиционно используется только параметр объема. Существование двух различных объемных характеристик имеет очевидный смысл. Первый объем, $V_t = (2,6 \pm 0,3)V_0$, был определен из формы зарядового распределения фрагментов промежуточной массы (ФПМ). Этот объем соответствует стадии формирования фрагментов, когда как следует разогретый спектатор мишени трансформируется в конфигурацию, состоящую из определенных префрагментов. Они еще не полностью обособлены, между ними существуют связи. Конечный канал распада формируется в течение эволюции системы в момент, когда удаляющиеся и взаимодействующие префрагменты становятся свободными. Эта картина напоминает обычное деление. Седловая точка напоми-

нает конечный канал расщепления при наличии довольно четкой массовой асимметрии. Ядерные взаимодействия между делением префрагментов прекращаются после спуска системы с вершины барьера к точке разделения (scission point). Параметр объема, полученный из зарядового распределения ФПМ, можно с трудом назвать freeze-out объемом. Более подходящим является термин «объем переходного состояния» (transition state volume), как и в случае простого деления.

Другой путь для получения значения размера системы — анализ спектра кинетических энергий фрагментов. В результате была получена величина объема системы, в пять раз превышающая ее при нормальном состоянии: $V_f = (5 \pm 1)V_0$. Более высокое значение полученного параметра объема является следствием решающего вклада кулоновского отталкивания в энергию ФПМ, которое начинает работать, когда система преодолет «точку множественного разделения» (multi-scission point). Таким образом, это и является freeze-out объемом для мультифрагментации в соударениях $p + \text{Au}$. Это означает, что ядерные взаимодействия между фрагментами зна-

чительно ослабевают, когда объем системы становится равным V_t , и только когда система расширится до V_f , фрагменты перестают взаимодействовать.

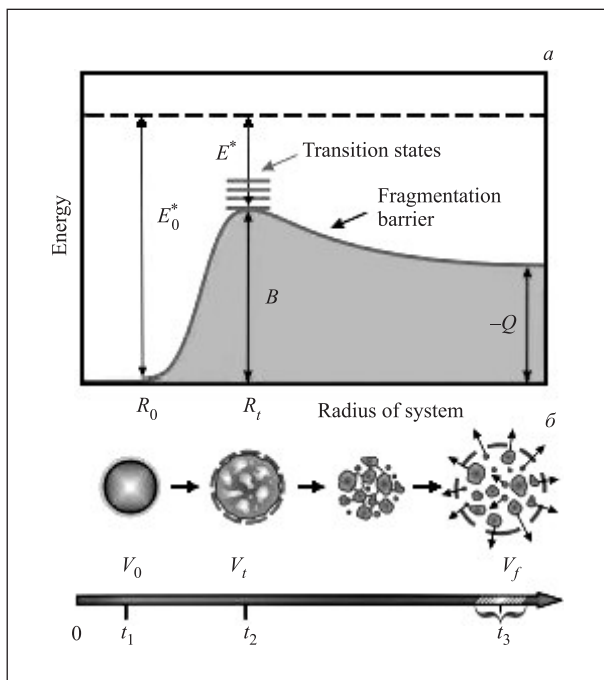


Рис. 14. а) Качественное представление потенциальной энергии горячих ядер (с энергией возбуждения E_0^*) как функции радиуса системы. Энергии основного состояния системы соответствует $E = 0$; B — фрагментационный барьер; Q — выделенная энергия. б) Схематический вид мультифрагментационного процесса и его временная шкала

Рис. 14 показывает эволюцию системы в процессе мультифрагментации. Очевидность существования двух характеристических объемов мультифрагментации изменяет понимание временной шкалы процесса (рис. 14, б). Сейчас это можно представить следующими составляющими: t_1 — время термализации возбужденного спектра мишени; t_2 — время расширения до достижения области уровней состояния; $(t_3 - t_2)$ — время спуска системы с вершины барьера к точке множественного разделения. Конфигурация системы на пути к точке разделения состоит из нескольких префрагментов, соединенных шейками. Их случайный разрыв характеризуется временем τ_n , которое является важной составляющей времени эмиссии фрагмента τ_{em} . Другой составляющей времени τ_{em} является характеристическое время флуктуаций плотности в переходном состоянии τ_t . Итак, $\tau_{em} \approx (\tau_t^2 + \tau_n^2)^{1/2}$. В более ранних работах

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Завершены работы по созданию циклотрона **CYTRACK** для промышленного производства трековых мембран. Проводились расчетные работы по

времени эмиссии определялось характеристическим временем флуктуаций плотности в системе на стадии формирования фрагментов, т. е. $t \approx t_2$. Действительная картина является более комплексной. Каковы значения этих характеристических времен? Термализацию или время релаксации энергии после внутриядерного каскада, t_1 , модель оценивает как 10–20 фм/с. Это оценивалось в предыдущей работе, где $\langle t_2 - t_1 \rangle \approx 70$ фм/с для $p(8,1 \text{ ГэВ}) + \text{Au}$ -соударений. Вычисления в рамках QMD-модели дали результат оценки t_3 , равный 150–200 фм/с. Необходимо новое теоретическое рассмотрение динамики деления очень горячих ядер. Это особенно важно для нахождения способа измерения времени t_3 . Время эмиссии фрагмента, τ_{em} , было измерено коллаборацией «Фаза» в 2002 г. и равнялось ≈ 50 фм/с.

В случае обычного деления t_2 определяется шириной деления Γ_f , которое соответствует времени порядка 10^{-19} с (или $\sim 3,3 \cdot 10^4$ фм/с) для энергий возбуждения порядка 100 МэВ. Значение t_3 было модельно оценено в ряде работ: $t_3 \approx 1000$ фм/с. Время разрыва шейки оценено с помощью модели релеевской неустойчивости: $\tau_n = [1,5(R_n/\text{фм})^3]^{1/2} \times 10^{-22}$ с. В целом, найденная величина τ_n оказалась менее чем 300 фм/с. Использованное выражение для оценки времени разрыва многошейковой конфигурации при мультифрагментации дает τ_n в пределах от 40 до 100 фм/с. Эта оценка находится в качественном согласии с измеренными значениями времени эмиссии фрагмента τ_{em} . Таким образом, простое деление характеризуется более «медленной» динамикой, чем мультифрагментация. Что касается пространственных характеристик, относительное удлинение очень тяжелых систем ($Z > 99$) на точке разделения при делении весьма сходно для точки множественного разделения у средних горячих ядер (редкоземельная область).

Сущность мультифрагментации горячих ядер в том, что фрагменты формируются в результате ядерного фазового перехода *жидкость–туман* внутри спиноподобной области. Но динамика всего процесса очень похожа на то, что происходит при обычном делении.

В 2006 г. коллаборация планирует новые эксперименты на пучке нуклотрона на модернизированной установке «Фаза» для измерения корреляций по относительной скорости, а также продолжить анализ экспериментальных данных для получения информации о предравновесной эмиссии в процессе мультифрагментации.

оптимизации параметров инъекции пучка в ускоритель, которые были доложены на VI Международном научном семинаре памяти В. П. Саранцева.

Циклу работ по проектированию, изготовлению и пуску циклотрона CYTRACK была присуждена вторая премия ОИЯИ за научно-технические и прикладные работы.

В 2006 г. лаборатория планирует произвести восстановление **фазотрона**, поврежденного пожаром. После восстановления на фазотроне будут продолжены исследования по рассмотрению возможностей формирования сканирующего протонного пучка для лучевой терапии, изучение различных вариантов канала для протонной терапии опухолей глаза, исследования возможности ускорения ионов ^3He или ^4He в фазотроне ОИЯИ.

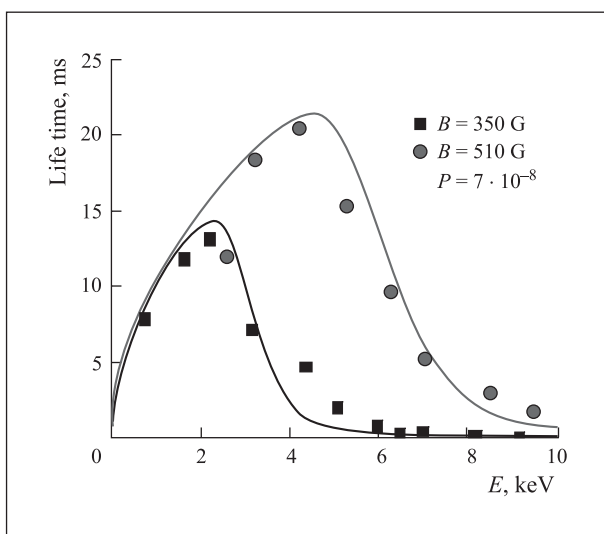


Рис. 15. Зависимость времени жизни циркулирующего электронного пучка в накопителе LEPTA от энергии

В рамках темы «Физика и техника ускорителей заряженных частиц» проведено тестирование накопителя LEPTA импульсным электронным пучком [33]. Измерена зависимость времени жизни циркулирующего пучка от различных параметров кольца. Обнаружено, что время жизни имеет специфическую зависимость от энергии (рис. 15) — гладкая функция $\tau(\varepsilon)$ с максимумом около 4 кэВ. Левый склон графика функции $\tau(\varepsilon)$ связан с ограничением времени жизни рассеянием электронов на атомах остаточного газа, правый склон — уменьшение времени жизни с ростом энергии — объясняется влиянием неоднородностей продольного фокусирующего магнитного поля. Максимальное время жизни, достигнутое в экспериментах, 22 мс (около $5 \cdot 10^4$ оборотов). В настоящее время проводится коррекция магнитного поля. Проведено тестирование инжектора позитронов с источником ^{22}Na низкой (0,8 МБк) активности. Изучалось замедление позитронов в микрослое неона, конденсированного при 10 К. Начато тестирование позитронной ловушки электронным пучком.

Основной целью исследований по теме «Развитие методов и средств лучевой терапии и сопутствующей

диагностики на адронных пучках ОИЯИ» является проведение на базе медико-технического комплекса (МТК) ЛЯП ОИЯИ медико-биологических и клинических исследований по лечению онкологических больных, совершенствование оборудования и аппаратуры и разработка новых методов лучевой терапии и сопутствующей диагностики онкологических больных на медицинских адронных пучках фазотрона ОИЯИ [34].

В течение 2005 г. совместно с Медицинским радиологическим научным центром, Обнинск, радиологическим отделением МСЧ-9 и научными лечебными учреждениями Чехии и Болгарии были продолжены клинические исследования по протонной терапии онкологических больных на пучках фазотрона ОИЯИ в процедурной кабине № 1 МТК. В отчетный период планировалось провести шесть лечебных циклов, но, к сожалению, из-за пожара, произошедшего в одном из зданий фазотрона в апреле 2005 г., удалось провести только один цикл. На медицинском протонном пучке с энергией 150 МэВ курс фракционированного лучевого лечения прошли 22 пациента. Кроме того, на гамма-аппарате «Рокус-М» были пролечены еще 49 пациентов (около 2000 лучевых сеансов). В сеансах протонной терапии проведена апробация быстросъемной деки к терапевтическому креслу для фиксации пациентов в положении лежа, что позволит проводить облучение ранее недоступных локализаций (рак простаты и др.). На пучках протонов и гамма-радиации проведен ряд радиобиологических экспериментов по исследованию эффекта «гиперчувствительности» и эффекта «свидетеля», а также комбинированному воздействию оптического и ионизирующего излучений на клетки мышечных фибробластов. Были продолжены работы по молекулярному анализу радиационно-индуцированных мутационных повреждений в генах животных и человека. Начаты работы по компьютерному моделированию объемной макроархитектуры генома в облученных гаметах животных с «эффектом положения» гена.

В 2006 г. в рамках темы планируется завершить восстановление оборудования тракта транспортировки протонного пучка к процедурным кабинетам, пострадавшего при пожаре, провести юстировку элементов тракта и вывести терапевтический протонный пучок с требуемыми характеристиками в процедурную кабину № 1. Планируется продолжить клинические исследования по протонной терапии различных новообразований на пучках фазотрона ОИЯИ в процедурной кабине № 1, провести апробацию разработанной методики лечения рака простаты на протонном пучке, начать разработку программно-аппаратного комплекса на основе экрана из аморфного силикона для проведения верификации положения пациента при проведении протонной терапии. Планируется провести дальнейшее

исследование эффекта «свидетеля» при воздействии на клетки СЗН10Т1/2 ионизирующего излучения и разработку подходов для применения этого эффекта в радиотерапии, а также исследование механизма и закономерностей передачи радиозащитного действия оптического излучения по эффекту «свидетеля», продолжить работы по молекулярному анализу радиационно-индуцированных мутационных повреждений в генах и работы по компьютерному моделированию объемной макроархитектуры генома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bellettini G. et al.* JINR Commun. E1-2005-131. Dubna, 2005.
2. *Adelman J. et al.* Top quark mass measurement using the template method in the lepton + jets channel at CDF II. CDF/PHYS/TOP/CDFR/7532. 2005.
3. *Bellettini G. et al.* Top mass measurement in dilepton events using neutrino phi weighting method. CDF/PHYS/TOP/GROUP/7641. 2005.
4. *Bellettini G. et al.* JINR Commun. E1-2005-129. Dubna, 2005.
5. *Ambrose D. et al.* Measurement of top quark mass using template methods on dilepton events. CDF/PUB/TOP/CDFR/7919. 2005.
6. *Giokaris N. et al.* Probing the top quark mass in the dilepton and lepton + jets channels using only lepton information. CDF/PUB/TOP/PUBLIC/7888. 2005.
7. *Giokaris N. et al.* JINR Commun. E1-2005-104. Dubna, 2005.
8. *D0 Collaboration.* Measurement of the isolated photon cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV. hep-ex/0511054.
9. *Adeva B. et al.* First measurement of the $\pi^+\pi^-$ atom lifetime // Phys. Lett. B. 2005. V. 619. P. 50.
10. *Budagov J. et al.* Electromagnetic energy calibration of the TILECAL modules with the flat filter method (July 2002 test beam data). ATL-TILECAL-PUB-2005-003; CERN-ATL-COM-TILECAL-2005-006. 2005.
11. *Kulchitsky Y. et al.* Energy calibration of the TILECAL modules with the fit filter method (July 2002 test beam data). ATL-TILECAL-PUB-2005-005; CERN-ATL-COM-TILECAL-2005-008. 2005.
12. *Kulchitsky Y. et al.* Electron energy resolution of the ATLAS TILECAL modules with flat filter method (July 2002 test beam). ATL-TILECAL-PUB-2005-004; CERN-ATL-COM-TILECAL-2005-007. 2005.
13. *Catanesi M. G. et al.* Measurement of the production cross-section of positive pions in p -Al collisions at 12.9 GeV/c. hep-ex/0510039.
14. *Arbuzov A. et al.* One-loop corrections to the Drell–Yan processes in SANC (I). The charged current case. hep-ph/0506110.
15. *Bardin D. et al.* SANCnews: Sector $f f b b$. hep-ph/0506120.
16. *Cordero A. et al.* // Proc. of the 29th ICRC, Pune, 2005 (in press).
17. *Abrashkin V. et al.* Advances in space research // Proc. of COSPAR-2005 (in press).
18. *Podorozhnyi D. et al.* // 29th Intern. Cosmic Ray Conf., Pune, 2005 (in press).
19. *Arnold R. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2005. V. 95. P. 182302.
20. *Dudkin G. N., Bystritsky V. M., Bystritskii V. M.* Neutron emission at plasma flow collision across of external magnetic field // Plasma Phys. 2005. V. 31. P. 1.
21. *Bystritsky V. M. et al.* Study of the pd reaction at ultralow energies using hydrogen liner plasma // Phys. At. Nucl. 2005. V. 68. P. 1777.
22. *Korenchenko S. M. et al.* Deviation from the standard model in the decay $\pi^+ \rightarrow e^+\nu\gamma$ // Ibid. P. 498–507; Yad. Fiz. 2005. V. 68. P. 527–536.
23. *Filchenkov V. V. et al.* Influence of the epithermal effects on the MCF steady state. JINR Preprint E15-2005-22. Dubna, 2005.
24. *Yaschenko S. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2005. V. 94. P. 072304.
25. *Uzikov Yu.* // J. Phys. G. 2002. V. 28. P. B13.
26. *Komarov V. et al.* // Phys. Lett. B. 2003. V. 553. P. 179.
27. *Brudanin V. B. et al.* Search for double electron capture of ^{106}Cd in the experiment TGV-2 // Izv. RAN. Ser. fiz. (in press).
28. *Batusov Yu. A. et al.* Resonant behaviour in double charge exchange reaction of π^+ -mesons on the nuclear photoemulsion // Eur. J. Phys. (submitted).
29. *Angelov N. et al.* On the muon neutrino mass // Eur. J. Phys. (submitted).
30. *Karnaukhov V. A. et al.* // Nucl. Phys. A. 2005. V. 749. P. 65c.
31. *Budzanowski A. et al.* // Acta Phys. Polon. 2005. V. 36. P. 1203.
32. *Denisov Yu. et al.* Bancher of the cyclotron CYTRACK, simulatins and experiment // Proc. of VI Intern. Sci. Seminar of Memory of V. P. Sarantsev, 2005 (in press).
33. *Kobets A. G. et al.* Perspectives of LEPTA // Proc. of the VIII Intern. Conf. on Low Energy Antiproton Phys. (LEAP'05), Bonn, Germany, May 16–22, 2005. P. 399–405.
34. *Gulidov I. et al.* Proton therapy at the Dubna // Radiotherapy & Oncology. 2005. V. 76. P. 159.