

УЧРЕЖДЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Г.И. Будкера СО РАН
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН
(ИЯФ СО РАН)

Е.В. Абакумова, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов,
А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин,
Д.Е. Беркаев, В.Е. Блинов, А.Г. Богданчиков,
А.А. Ботов, Д.А. Букин, А.В. Васильев,
В.М. Весенев, Е.А. Власенко, В.Б. Голубев,
К.А. Гревцов, Т.В. Димова, В.П. Дружинин,
А.А. Жуков, И.М. Землянский, Л.В. Кардапольцев,
А.Н. Кирпотин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп,
А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко,
А.Ю. Кульпин, А.С. Купич, А.П. Лысенко, К.А. Мартин,
И.Н. Нестеренко, А.Е. Образовский, В.П. Олейников,
А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова, Е.А. Переведенцев,
Е.Э. Пята, Ю.А. Роговский, А.Л. Романов,
С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин,
К.Ю. Сквпень, А.Н. Скринский, И.К. Сурин,
А.И. Текутьев, Ю.А. Тихонов, Ю.В. Усов,
А.Г. Харламов, П.Ю. Шатунов, Ю.М. Шатунов,
Д.Б. Шварц, Д.А. Штоль, А.Н. Шукаев

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ДЕТЕКТОРОМ СНД
НА КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-2000

ИЯФ 2012-20

НОВОСИБИРСК
2012

Статус экспериментов с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000

*Е.В. Абакумова, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, А.Ю. Барняков,
К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, Д.Е. Беркаев, В.Е. Блинов,
А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, Д.А. Букин, А.В. Васильев,
В.М. Весенев, Е.А. Власенко, В.Б. Голубев, К.А. Гревцов,
Т.В. Димова, В.П. Дружинин, А.А. Жуков, И.М. Землянский,
Л.В. Кардапольцев, А.Н. Кирпотин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп,
А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко, А.Ю. Кульпин,
А.С. Купич, А.П. Лысенко, К.А. Мартин, И.Н. Нестеренко,
А.Е. Образовский, В.П. Олейников, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова,
Е.А. Переведенцев, Е.Э. Пята, Ю.А. Роговский, А.Л. Романов,
С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин, К.Ю. Сквепень,
А.Н. Скринский, И.К. Сурин, А.И. Текутьев, Ю.А. Тихонов,
Ю.В. Усов, А.Г. Харламов, П.Ю. Шатунов, Ю.М. Шатунов,
Д.Б. Швари, Д.А. Штоль, А.Н. Шучаев*

Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера
630090, Новосибирск, Россия

Аннотация

Приводится описание экспериментов с детектором СНД на e^+e^- коллайдере ВЭПП-2000 в сезоне 2011-2012 гг. и работ по модернизации систем детектора и его программного обеспечения. Представлены также предварительные результаты анализа записанных данных.

**Status of experiments with the SND detector
at the collider VEPP-2000**

*E.V. Abakumova, V.M. Aulchenko, M.N. Achasov, A.Yu. Barnyakov,
K.I. Beloborodov, A.V. Berdyugin, D.E. Berkaev, V.E. Blinov,
A.G. Bogdanchikov, A.A. Botov, D.A. Bukin, A.V. Vasiljev,
V.M. Vesenev, E.A. Vlasenko, V.B. Golubev, K.A. Grevtsov,
T.V. Dimova, V.P. Druzhinin, I.M. Zemliansky, A.A. Zhukov,
L.V. Kardapoltsev, A.N. Kirpotin, I.A. Koop, D.P. Kovrizhin,
A.A. Korol, S.V. Koshuba, E.A. Kravchenko, A.Yu. Kulpin,
A.S. Kupich, A.P. Lysenko, K.A. Martin, I.N. Nesterenko,
A.E. Obrazovsky, V.P. Oleinikov, A.P. Onuchin, E.V. Pakhtusova,
E.A. Perevedentsev, E.E. Pyata, Yu.A. Rogovsky, A.L. Romanov,
S.I. Serednyakov, Z.K. Silagadze, A.A. Sirotkin, K.Yu. Skovpen,
A.N. Skrinsky, I.K. Surin, A.I. Tekutev, Yu.A. Tikhonov,
Yu.V. Usov, A.G. Kharlamov, P.Yu. Shatunov, Yu.M. Shatunov,
D.A. Shtol, A.N. Shukaev, D.B. Shwartz*

Budker Institute of Nuclear Physics,
630090 Novosibirsk, Russia

Аннотация

SND experiments at the VEPP-2000 e^+e^- collider in the season 2011-2012 and the current status of the SND detector are described. Preliminary results of data analysis are presented.

Содержание

1	Введение	5
2	Состояние систем детектора СНД	6
3	Программное обеспечение обработки и моделирования (OFFLINE)	10
4	Анализ данных	13
4.1	Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$	13
4.2	Процесс $e^+e^- \rightarrow 3\pi$	15
4.3	Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$	16
4.4	Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$	17
4.5	Процессы e^+e^- аннигиляции в шесть пионов	18
4.6	Процесс $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$	21
4.7	Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	22
4.8	Процесс $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$	23
4.9	Процесс $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$	25
5	Заключение	26
24	Список литературы	27

1 Введение

Набор статистики в сезоне 2011–2012 гг. начался в феврале 2012 года. Причинами задержки были работы по модернизации системы инжекции пучков в ВЭПП-2000, установка вакуумного канала для измерения энергии методом обратного комптоновского рассеяния [1] и аварийная разгерметизация вакуумной камеры коллайдера, после которой был длительный период откачки. Поэтому в первых экспериментальных заходах с двумя пучками фон был существенно выше, чем в предыдущем сезоне [2].

Главной частью программы эксперимента 2012 г. было сканирование диапазона энергии в системе центра масс $2E$ от 1280 до 2000 МэВ. Планировалось два «прохода», вверх и вниз, с переменным шагом, всего 28 точек с интегральной светимостью 1 пб^{-1} в каждой точке. Перед началом сканирования была откалибрована энергия коллайдера. Для этого было проведено короткое сканирование энергетического интервала вблизи ϕ -мезонного резонанса, по которому была измерена масса ϕ -мезона. Измерение показало правильность установки энергии коллайдера.

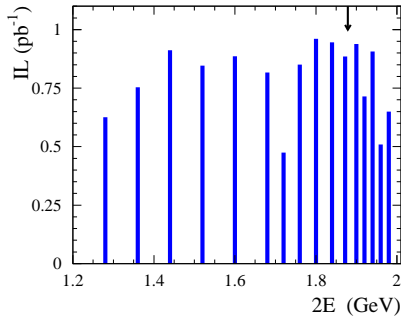


Рис. 1. Интегральная светимость в сканировании 2012 года в зависимости от энергии. Стрелочкой показан порог рождения пар нуклонов.

К концу апреля были накоплены данные с интегральной светимостью около 13 пб^{-1} , что составляет около половины заявленной программы. Средняя по заходу светимость изменялась в пределах от 2 до $10 \times 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Распределение интегральной светимости по энергетическим точкам показано на рисунке 1. В конце апреля ввиду возникших

проблем с материальным обеспечением эксперименты на ВЭПП-2000 с детекторами СНД и КМД-3 были остановлены.

Следует добавить, что в процессе сканирования начались испытания системы измерения энергии пучков методом обратного комптоновского рассеяния. Если судить по предварительным результатам, точность установки энергии ВЭПП-2000 при $E \approx 1$ ГэВ была не хуже 1 МэВ.

Кроме набора новой статистики в течение прошедшего сезона на СНД была проведена замена электроники на первом слое калориметра, продолжались испытания нового флэш-АЦП для калориметра. Существенный прогресс достигнут в измерении параметров черенковских счетчиков и включении информации с них в обработку данных.

В настоящем препринте кратко описано состояние систем детектора СНД и предварительные результаты по анализу записанных данных.

2 Состояние систем детектора СНД

Общий вид детектора СНД приведен на рис. 2. Детектор включает трековую систему, состоящую из дрейфовой и пропорциональной камер, расположенных в едином газовом объеме, систему идентификации заряженных частиц на основе пороговых аэрогелевых черенковских счетчиков, сферический трехслойный электромагнитный калориметр на основе кристаллов NaI(Tl) и мюонную систему, состоящую из двух слоев пропор-

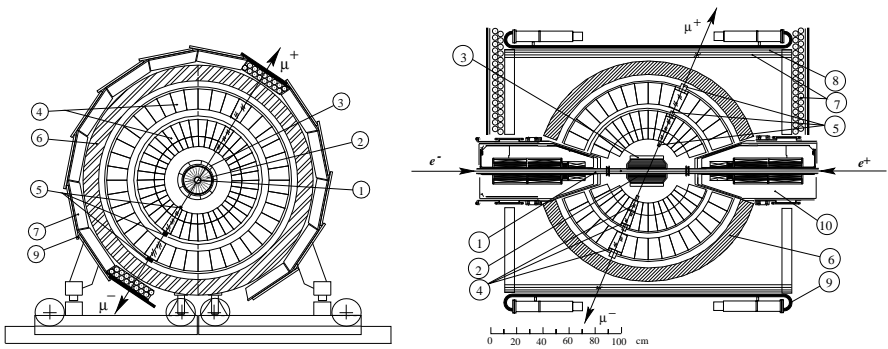


Рис. 2. Схема детектора СНД: 1 – вакуумная камера, 2 – трековая система, 3 – аэрогелевые черенковские счетчики, 4 – кристаллы NaI(Tl), 5 – вакуумные фототриоды, 6 – поглотитель, 7 – пропорциональные трубки, 8 – железный фильтр, 9 – сцинтилляционные счетчики, 10 – фокусирующие соленоиды ВЭПП-2000.

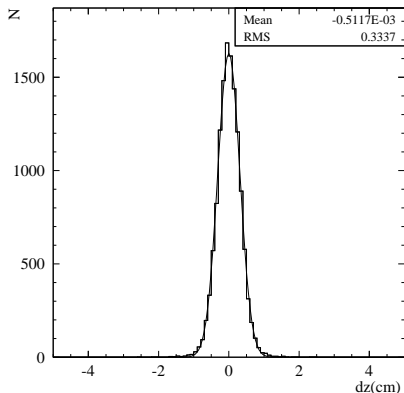


Рис. 3. Распределение по $z_2 - z_1$ событий процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ при энергии $2E=1.5$ ГэВ.

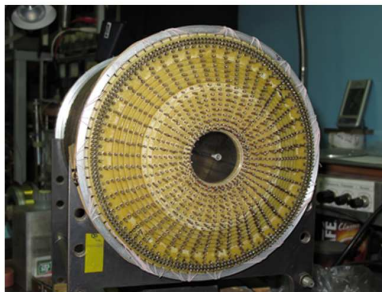


Рис. 4. Новая трековая система СНД.

циональных трубок и пластиковых сцинтилляционных счетчиков.

Детальное описание систем детектора, его электроники и системы сбора данных можно найти в препринтах ИЯФ [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. В этой главе описываются изменения в подсистемах, произошедшие в сезоне 2011–2012 годов.

В 2012 году были сделаны улучшения в калибровке трековой системы, в частности, была разработана процедура абсолютной калибровки измерения z -координаты по зарядовому делению, в которой в качестве реперов служат координаты кластеров катодных полосок. Для калибровки использовались события процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$. В результате точность восстановления z -координаты точки вылета заряженной частицы, которая определяется как z -координата ближайшей к оси пучков точки трека, улучшилась на 25% и составила $\simeq 2$ мм. На рис. 3 приведено распределение по $z_2 - z_1$, где z_1, z_2 — координаты точек вылета двух частиц в событии $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$.

В текущей версии реконструкции событий разрешение трековой системы по полярному и азимутальному углам, измеренное по событиям процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, составило $\sigma_\theta = 2^\circ$ и $\sigma_\phi = 0.5^\circ$ соответственно.

В 2010 г. было начато изготовление второго экземпляра трековой системы СНД (рис. 4). Основное отличие новой камеры от трековой системы, используемой в экспериментах СНД на ВЭПП-2000, состоит в структуре внутреннего катода. Ожидается, что в новом варианте взаим-

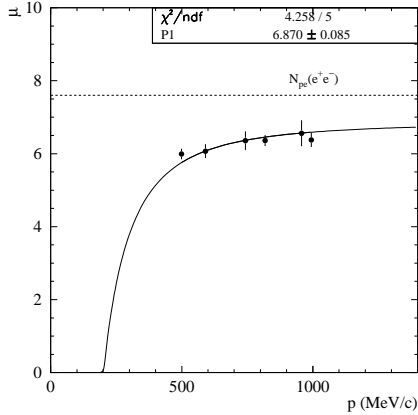


Рис. 5. Зависимость сигнала черенковского счетчика от импульса μ -мезона.

ные наводки между катодными полосками будут существенно меньше. В период с марта 2010 г. по май 2012 г. проведено склеивание внешнего катода, вклейка фланцев и натяжение проволочной структуры (1296 проволок). В настоящее время закончена проверка натяжения проволок и ведется распайка высоковольтного кросса.

По данным эксперимента 2010–2011 гг. были измерены зависимости средних сигналов с черенковских счетчиков от импульсов мюонов и пионов. На рис. 5 показана зависимость средней амплитуды счетчика от импульса μ -мезона. Величина сигнала от электронов показана горизонтальной линией. Среднее число фотоэлектронов для ультрарелятивистских электронов на конец сезона 2010–2011 гг. составило 5.5 – 8.0 фотоэлектронов для разных счетчиков. Средние амплитуды, полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных теоретической зависимостью, составили для μ -мезонов — 5–8 фотоэлектронов, для π -мезонов — 4.5 – 7.5 фотоэлектронов. Полученные данные используются для создания параметра идентификации частиц. Более подробное описание системы аэрогелевых черенковских счетчиков будет дано в отдельном препринте.

В калориметре СНД на момент окончания набора данных было работоспособно 97% счётчиков. В 2011 году в половине первого слоя была произведена замена электроники. Во время замены электроники были сняты все вакуумные фототриоды и проверены их параметры. Приборы с малым производением квантового выхода на коэффициент усиления

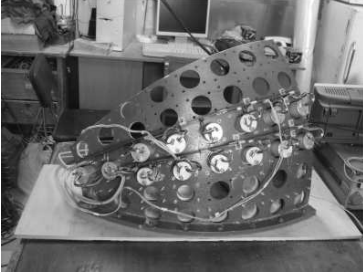


Рис. 6. Новая электроника второго слоя на прототипе.

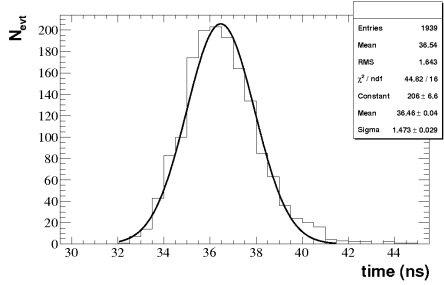


Рис. 7. Временное разрешение счетчика NaI для новых плат канала электроники калориметра (формирователь + ФЛЭШ АЦП), полученное на стенде по космическим мюонам.

были заменены. За время эксперимента 2012 года на этой половине вышли из строя один фототриод и один ЗЧУ. В настоящее время закончена замена электроники на всем первом слое. Электроника для второго и третьего слоев была испытана на прототипах (рис. 6) и в настоящее время находится в производстве.

По экспериментальным данным 2010–2011 года было измерено энергетическое разрешение калориметра для фотонов с энергией 0.7–1.0 ГэВ (этот диапазон энергий не был доступен на ВЭПП-2М). Оно практически не зависит от энергии и составляет около 5.4%.

По данным, набранным в 2011 году, была измерена эффективность регистрации мюонной системы для мюонов с энергией больше 600 МэВ от процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Она составила более 0.96. При определении эффективности требовалось, чтобы на продолжении трека в камере и калориметре сработали как пропорциональные трубки, так и сцинтилляционные счетчики. Причины отклонения эффективности от единицы изучаются.

Система сбора данных СНД в сезоне 2011–2012 гг. работала стабильно. В ходе эксперимента в основном решались вопросы текущей поддержки системы. Наиболее заметным шагом по развитию стало создание программы визуализации зависимостей важнейших параметров ВЭПП-2000 и детектора СНД, таких как токи и светимость коллайдера, живое время и загрузки подсистем СНД, от времени в течение заданного интервала, например, в течение суток.

Были проведены испытания на стенде новых плат канала электроники калориметра: формирователя и ФЛЭШ АЦП. Новый канал позволит в дополнение к измерению амплитуды сигнала определять время срабатывания счетчиков калориметра, что особенно важно для выделения процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$. Временное разрешение, измеренное на космических мюонах и по генератору, составило 1.5 нс (рис. 7), амплитудное разрешение, измеренное по генератору, составило 0.5%, что соответствует 1.25 МэВ. Сейчас планируется установить несколько новых плат непосредственно в кейты электроники СНД для дальнейшей проверки.

3 Программное обеспечение обработки и моделирования (OFFLINE)

В 2011–2012 гг. с появлением экспериментальных данных существенно выросло число пользователей программного обеспечения (ПО) обработки данных и моделирования. В результате было обнаружено и исправлено большое количество ошибок в ПО, улучшена эффективность алгоритмов реконструкции. Было выпущено два релиза (4.2 и 5.1), начата подготовка нового большого релиза.

В общей части ПО были сделаны следующие изменения, направленные на упрощение и стандартизацию его использования:

- вынос всех одинаковых наборов модулей (AppModule) в иерархическую систему так называемых последовательностей (AppSequence);
- организация пакета Offline, содержащего примеры заданий (fwk-файлы) и готовые стандартизированные блоки настроек (fwi-файлы) для различных сценариев использования ПО, таких как реконструкция, обработка реконструированных данных, моделирование, моделирование, комбинированное с оцифровкой и реконструкцией, и прочее;
- существенной переработке подверглась подсистема доступа к параметрам объектов из задания (getters), появилась возможность делать унаследованные и комбинированные объекты;
- в описание наборов параметров для гистограммирования и отбора добавлены явные описатели типов и функция coalesce;
- изменена реализация доступа к пакету HBOOK: рационализирована схема описания области памяти PAWC, формат выходного файла теперь допускает очень большое количество записей;

- для того, чтобы создавать модули и последовательности во время исполнения, реализован полный комплект необходимых средств, доступных из оболочки python, а именно: клонирование модулей и последовательностей, добавление модулей в последовательности;
- для уменьшения числа ненужных или даже вредных зависимостей сборка делается с ключом «-as-needed», т.е. в зависимости к библиотеке попадает только первый уровень;
- сборкой по умолчанию теперь считается оптимизированная сборка с информацией отладчика (opt-debug);
- модули контроля по событиям и модули третичного триггера модифицированы таким образом, чтобы их можно было использовать также со стандартной обработкой (RecApp) и моделированием (SimG4RecApp); добавлен псевдо-пакет Analyze для хранения рабочих пользовательских модулей.

Из изменений в моделировании можно отметить следующие:

- интегрированы существующие в UMIMOD, а также созданы новые первичные генераторы e^+e^- аннигиляции в различные конечные состояния, например, такие как: 3γ , $\mu^+\mu^-$, $\omega\pi^+\pi^-$, $e^+e^-2\gamma$, $\eta\omega$, $2\pi^0\pi^+\pi^-$, интегрирован дополнительный к существующему генератор электрон-позитронного рассеяния (BHWIDE);
- моделирование переведено на новую версию Geant4: 9.4p2; к сожалению, эта версия содержит, по-видимому, серьезные ошибки в части электромагнитного взаимодействия, поэтому сейчас идет переход на версию 9.5, которая выглядит существенно лучше;
- добавлены моделирование времени и соответствующие данные для счетчиков калориметра;
- добавлено моделирование и оцифровка срабатываний катодных полосок в пропорциональной и дрейфовой камерах;
- добавлена возможность установки параметров места встречи для первичного моделирования из базы данных калибровок;
- создана возможность отключения избранных распадов частиц в Geant4;
- в моделирование добавлено описание соленоидов ускорителя;
- исправлена геометрия торцевой части мюонной системы;
- получены новые коэффициенты для моделирования неоднородности светосбора; начаты работы по коррекции энергии частиц в калориметре;

- разработана и реализована программная часть процедуры подмешивания случайных срабатываний каналов детектора (наложений) к моделированным событиям.

Калибровка данных и их реконструкция также значительно продвинулись:

- реализованы поправки к энергии и углам кластеров калориметра, что позволило существенно улучшить точность восстановления параметров частиц; для чисто «нейтральных» событий, содержащих только фотоны, интегрирована также программа реконструкции частиц в калориметре из ПО СНД для ВЭПП-2М;
- существенно переработан (особенно в части чистки «ложных треков») существующий алгоритм реконструкции треков в дрейфовой камере, основанный на алгоритме Хаф (Hough);
- создан новый алгоритм, основанный на сегментированном гистограммном методе с использованием пар срабатываний (Pairs, автор Букин Д.А.); алгоритм, в том числе процедура отбрасывания ложных треков, доведен до практически рабочего состояния и обеспечивает лучшую эффективность;
- уточнение положения кластера катодных полосок (используется параболическая оценка по окрестности полоски с максимальной амплитудой); полоски интегрированы в объект частицы;
- реализовано вычисление положения и разброса места встречи пучков; организовано его сохранение в базу данных калибровок; реализован доступ к этим данным из программы;
- разработаны объекты реконструкции для порогового черенковско-го счетчика, средства их сохранения и чтения; реализована система калибровок, то есть их создание, применение и хранение в базе данных калибровок;
- добавлены объекты и алгоритмы для расчета, сохранения и чтения dE/dx в дрейфовой камере;
- реализована эвристика и необходимые изменения в структуре объектов для учета скачков в измеренном времени дрейфа, связанных с неправильным определением момента встречи пучков;
- реализован алгоритм восстановления амплитуды в срабатываниях дрейфовой камеры с переполнением;

Заметная работа проделана по созданию так называемой кинематической реконструкции событий. С этой целью на основе опыта, полученного в

экспериментах на ВЭПП-2М, создан программный пакет для работы с записанными наборами параметров частиц (HBOOK n-tuples).

Проведена массовая реконструкция и отбор (перекачка) событий сканирований 2009–2010 и 2010–2011 гг. Для этой цели использовался доступ к суперкомпьютерному кластеру НГУ.

Реализация доступа основывалась на виртуализации с двухуровневой организацией системы пакетной обработки: виртуальные машины запускаются постановщиком заданий на суперкомпьютерном кластере, и, в свою очередь, регистрируются в системе пакетной обработки уже для пользовательских заданий. По этой же схеме произведен довольно значительный объем событий моделирования.

4 Анализ данных

Предварительные результаты, приведенные в этой секции, основаны на данных, накопленных в течение двух сезонов в 2010 и 2011 годах.

В 2010 году статистика набиралась в 9 точках по энергии, в диапазоне $2E = 1.1 - 1.9$ ГэВ с шагом 0.1 ГэВ. Суммарная интегральная светимость этого сканирования составила около 5 пб^{-1} .

В 2011 году статистика набиралась в 40 точках по энергии, в диапазоне $2E = 1.05 - 2.00$ ГэВ с шагом 25 МэВ. Суммарная интегральная светимость сканирования 2011 года составила около 20 пб^{-1} .

4.1 Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$

Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ изучался по данным 2010 года и части данных 2011 года. Для реконструкции η -мезона использовалась мода распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. Поэтому отбирались события с двумя треками от заряженных частиц, реконструированными в камере, и с двумя фотонами, зарегистрированными в калориметре. Допускалось также наличие одного лишнего фотона, который может возникнуть, например, из-за наложения пучкового фона или в результате ядерного взаимодействия заряженного пиона в калориметре. Требовалось, чтобы заряженные частицы вылетали из места встречи пучков: расстояния от треков до оси пучков в плоскости xy не превышают 1 см ($R < 1$ см), а z -координаты ближайших к оси пучков точек треков находятся в пределах ± 10 см от места встречи ($|z| < 10$ см). Полярные углы заряженных частиц были ограничены диапазоном $22.5^\circ - 157.5^\circ$, а полярные углы фотонов — диапазоном $36^\circ - 144^\circ$. Чтобы подавить пучковый и электродинамический фон, тре-

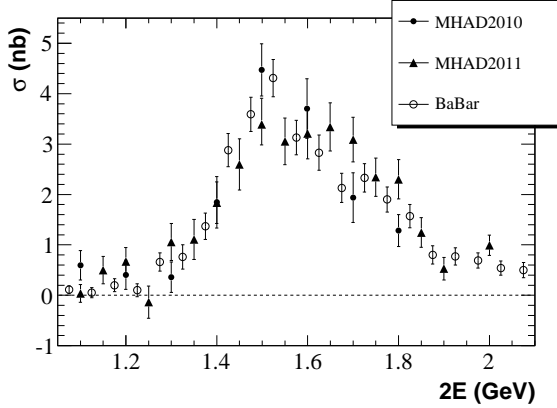


Рис. 8. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$, измеренное СЧД по данным 2010 г. (MHAD2010) и 2011 г. (MHAD2011). Для сравнения приведены результаты BABAR.

бовалось, чтобы полное энергосодержание в калориметре находилось в пределах $(0.6-1.8)E$.

Для заряженных треков проводилось фитирование в общую вершину в предположении, что в плоскости, перпендикулярной оси пучков, она совпадает с положением места встречи пучков. На χ^2 этого фита накладывалось довольно мягкое условие $\chi_r^2 < 100$. Полученная z -координата вершины использовалась для перевычисления полярных углов фотонов.

Далее проводилась кинематическая реконструкция в гипотезе конечного состояния $\pi^+\pi^-\gamma\gamma$. При наличии нескольких фотонов в событии реконструкция проводилась для всех двухфотонных комбинаций, а затем выбиралась комбинация с наименьшим χ^2 . На окончательный χ^2 реконструкции накладывалось условие $\chi_{\pi^+\pi^-\gamma\gamma}^2 < 60$.

Определение числа событий эффекта производилось путем аппроксимации распределения по инвариантной массе пары фотонов суммой распределений для эффекта и фона. Эффект (пик от η -мезона) описывался суммой двух распределений Гаусса, а фон — полиномом второй степени.

Измеренное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ показано на рис. 8 вместе с данными эксперимента BABAR [9]. Видно, что результаты СЧД для сканирований 2010, 2011 годов и данные BABAR не противоречат друг другу.

4.2 Процесс $e^+e^- \rightarrow 3\pi$

Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ изучался в области энергии $2E$ от 1.05 до 2.00 ГэВ. В анализе использовались данные, записанные в эксперименте 2011 года. Основным фоном для изучаемого процесса в интересующей области энергии являются события процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$.

В анализе использовались события с двумя фотонами и двумя или тремя центральными треками от заряженных частиц ($R < 0.5$ см и $|z| < 10$ см), лежащими в диапазоне полярных углов от 30° до 150° . Для подавления фона от коллинеарных событий, в основном от процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, требовалось, чтобы угол отклонения от коллинеарности треков в плоскости xy был больше 10° ($|\Delta\phi| > 10^\circ$). Против пучкового и электродинамического фонов использовались условия на энерговыделение в калориметре: полное энерговыделение в событии должно находиться в пределах от $0.6E$ до $1.6E$, а энерговыделение заряженных частиц должно быть меньше E .

К отобранному таким образом событиям была применена процедура кинематической реконструкции. На первом этапе производился поиск общей точки вылета и ее сопоставление с местом встречи, полученным из калибровки. При наличии трех треков в событии выбирались два трека, имеющие наименьшее значение χ_r^2 . Событие считалось хорошим, если оно удовлетворяло условию $\chi_r^2 < 100$. Затем проводилась собственно кинематическая реконструкция в гипотезе, что событие происходит от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-2\gamma$ и удовлетворяет законам сохранения энергии и импульса. На χ^2 реконструкции накладывалось условие $\chi^2 < 80$.

Для отобранных событий строился спектр инвариантных масс двух фотонов, который аппроксимировался суммой распределений для эффекта и фона, полученных в результате моделирования процессов $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ соответственно. Количество фоновых событий составляло 10 – 25% от отобранных событий. Сечение изучаемого процесса определялось следующим образом:

$$\sigma_{3\pi} = \frac{N_{exp}}{\epsilon \cdot (1 + \delta) \cdot L},$$

где N_{exp} – число отобранных событий, ϵ – эффективность регистрации, вычисленная по моделированию, $(1 + \delta)$ – радиационная поправка, L – светимость. Полученное сечение вместе с данными измерения СНД на ВЭПП-2М при $2E < 1.4$ ГэВ и результатами детектора BABAR [10] показано на рис. 9.

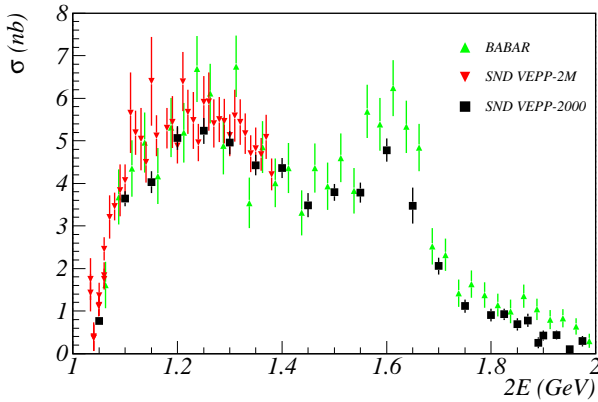


Рис. 9. Сравнение измеренного сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ с предыдущим измерением СНД на ВЭПП-2М при $2E < 1.4$ ГэВ и результатами детектора BABAR

4.3 Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$

Процесс $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$ изучался по данным 2010 года из диапазона энергии 1.4 – 1.8 ГэВ с интегральной светимостью 2.65 пб^{-1} . K_S -мезон реконструировался в моде распада $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$. K_L -мезон регистрировался как один или несколько фотонов в калориметре. Поэтому отбирались события с двумя треками, зарегистрированными в дрейфовой камере, и одним, двумя или тремя фотонами. На треки накладывались условия: $R > 0.3 \text{ см}$, $|z| < 15 \text{ см}$, $30^\circ < \theta < 150^\circ$, расстояние между треками не превышает 1 см. Условие на параметр R существенно уменьшало фон от событий e^+e^- -аннигиляции. Фон от космических частиц и процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ подавлялся с помощью требования $|\Delta\phi| > 10^\circ$. Дополнительное подавление пучкового, космического и электродинамического фонов осуществлялось с помощью условия, что полное энергосодержание в калориметре находится в диапазоне от $0.4E$ до $1.6E$.

По измеренным параметрам заряженных пионов вычислялись предполагаемое направление K_L -мезона, z -координата рождения K_S -мезона (z_K) и инвариантная масса пары пионов ($M_{2\pi}$). При вычислении $M_{2\pi}$ предполагалось, что энергия пары пионов равна E . Окончательный отбор событий проводился с использованием условий: $|z_K| < 6 \text{ см}$, $400 < M_{2\pi} < 600 \text{ МэВ}/c^2$, угол между измеренным (направление наиболее энергичного фотона) и вычисленными направлениями K_L -мезона не превышает 30° .

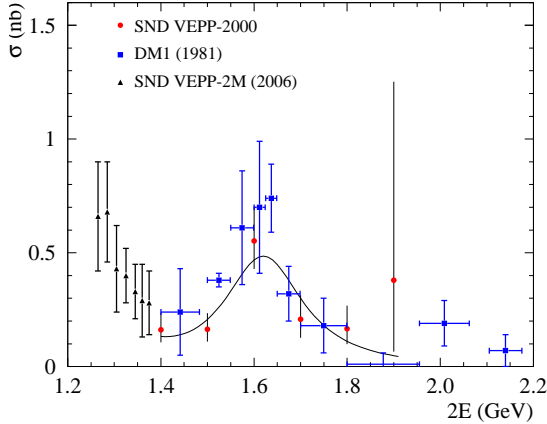


Рис. 10. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$, измеренное в данной работе и в предыдущих экспериментах DM1 [11] и СНД на ВЭПП-2М [12].

В результате было найдено 57 событий. Эффективность регистрации зависит от энергии пучков и меняется от 6 до 9 %. На рис. 10 приведено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$, полученное в данной работе и предыдущих экспериментах. Аппроксимация сечения проводилась с учетом резонансов $\phi(1020)$ и $\phi(1680)$.

Систематическая ошибка в измерении сечения процесса оценивается в 30%. В основном, она определяется неточностью в определении эффективности регистрации. Для повышения точности результата предполагается использовать новый вариант реконструкции событий в детекторе, расширяющей возможности восстановления событий процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$.

4.4 Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$

Процесс $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$ с распадом $\eta \rightarrow 3\pi^0$ анализировался по статистике, набранной в 2010 и 2011 годах. В исследуемом диапазоне энергий $530 < E \leq 1000$ МэВ основными фоновыми процессами являются $e^+e^- \rightarrow K_S K_L$, $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ и $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0$ с распадом $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$.

Для анализа отбирались события с семью и более фотонами, зарегистрированными в калориметре. Требовалось отсутствие треков в дрейфовой камере. Энерговыделение в калориметре (E_{cal}) должно находиться

в интервале от $1.4E$ до $2.4E$, а суммарный импульс, вычисленный по калориметру, (p_{cal}) должен быть меньше $0.6E$. Накладывалось также условие на комбинацию этих параметров $E_{\text{cal}} - p_{\text{cal}}c > 1.4E$.

Для отобранных таким образом событий проводилась кинематическая реконструкция в нескольких гипотезах: $e^+e^- \rightarrow n\gamma$, где n — число зарегистрированных фотонов, $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ (в этой гипотезе перебираются все пятифотонные комбинации), $e^+e^- \rightarrow 3\pi^0\gamma$ (перебираются семифотонные комбинации). На χ^2 , вычисленные в этих гипотезах накладывались следующие условия: $\chi_{n\gamma}^2 < 30$, $\chi_{\pi^0\pi^0\gamma}^2 > 20$, $\chi_{3\pi^0\gamma}^2 < 50$. Требовалось также, чтобы инвариантная масса отдачи наиболее энергичного фотона в событии лежала в диапазоне $400 < M_{\text{rec } \gamma} < 600$ МэВ/ c^2 .

В диапазоне энергий $530 < E \leq 1000$ МэВ было найдено около 60 событий. В настоящее время идет работа по уточнению светимости и исследованию возможных источников систематических ошибок.

4.5 Процессы e^+e^- аннигиляции в шесть пионов

Особый интерес к процессам e^+e^- аннигиляции в шесть пионов связан с интерференционной структурой, наблюдающейся в сечениях процессов $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ и $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$ при энергии около 1.9 ГэВ, т. е. вблизи порога рождения пары нуклон-антинуклон. Эта структура впервые была обнаружена в эксперименте DM2 [13]. Ее наличие было подтверждено в эксперименте BABAR [14], где сечения этих двух процессов измерялись методом радиационного возврата. Данные BABAR являются фактически единственными опубликованными данными по сечениям $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ и $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$. Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-4\pi^0$ экспериментально не изучался.

Для предварительного анализа процессов e^+e^- аннигиляции в шесть пионов использовались данные 2011 года. Чтобы выделить процесс $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ отбирались события с числом треков в дрейфовой камере большим или равным пяти. Требовалось, чтобы по крайней мере пять треков фитировались в общую вершину, которая в плоскости, перпендикулярной оси пучков, совпадает с местом встречи. Вдоль оси пучков вершина должна находиться не более, чем в 15 см от положения места встречи. Видимое сечение для отобранных таким образом событий приведено на рисунке 11 (заштрихованные круги). Вертикальная пунктирная линия показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон. Резонансная структура при энергии около 1.9 ГэВ ясно видна в измеренном сечении. Сечение пятитрековых событий ниже 1.6 ГэВ определяется фоном от процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ с лишним треком, например,

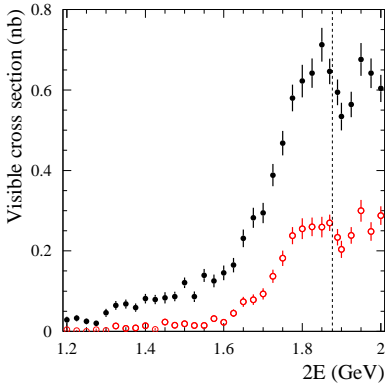


Рис. 11. Видимое сечение для отобранных пятитрековых (заштрихованные круги) и шеститрековых (пустые круги) кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$. Вертикальная пунктирная кривая показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон.

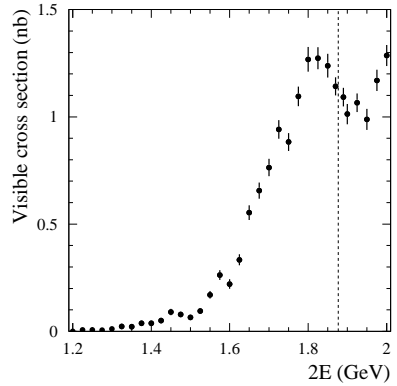


Рис. 12. Видимое сечение для отобранных кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$. Вертикальная пунктирная кривая показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон.

от дельта-электрона. Требование наличия зарегистрированного шестого трека подавляет этот фон, но приводит к примерно двукратному уменьшению статистики. Сечение шеститрековых событий приведено на рисунке 11 пустыми кругами. В дальнейшем фон от процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ предполагается вычитать с использованием моделирования.

При анализе процесса $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-\pi^0)$ отбирались события с четырьмя треками в дрейфовой камере, которые фитируются в общую вершину, как было описано выше, и по крайней мере четырьмя фотонами. Для этих событий проводилась кинематическая реконструкция с 6 условиями: 4 законами сохранения энергии и импульса и 2 условиями, что инвариантные массы пар фотонов равны массе π^0 -мезона. Далее накладывалось условие на χ^2 кинематической реконструкции. Видимое сечение для отобранных событий показано на рисунке 12. Здесь также видна интерференционная структура при энергии около 1.9 ГэВ.

При анализе процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-4\pi^0$ отбирались события с двумя треками в дрейфовой камере, которые фитируются в общую вершину, и по крайней мере с 8 фотонами, найденными в калориметре. Далее события подвергались кинематической реконструкции с 8 условиями:

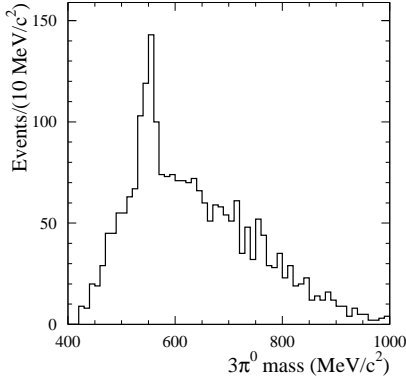


Рис. 13. Распределение по инвариантной массе трех π^0 -мезонов с минимальной энергией для кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-4\pi^0$.

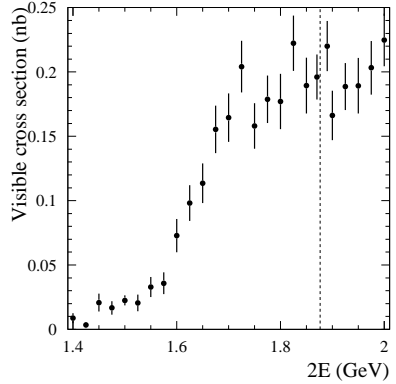


Рис. 14. Видимое сечение для отобранных кандидатов в события процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-4\pi^0$. Вертикальная пунктирная кривая показывает положение порога рождения пары нуклон-антинуклон.

4 законами сохранения энергии и импульса и 4 условиями на инвариантные массы пар фотонов. На χ^2 кинематической реконструкции накладывалось условие $\chi^2 < 50$. В данном случае значительная часть событий происходит от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ с распадом $\eta \rightarrow 3\pi^0$. Эти события легко увидеть в распределении по инвариантной массе трех π^0 -мезонов, показанном на рисунке 13. В распределение включена только одна из четырех возможных комбинаций трех π^0 -мезонов, включающая в себя наименее энергичные частицы. Условие на эту инвариантную массу $0.51 < M_{3\pi^0} < 0.59$ ГэВ/ c^2 подавляло фон от процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$. Видимое сечение для отобранных событий показано на рисунке 14. В данном случае при имеющемся уровне статистики резонансная структура не видна.

Для продолжения анализа требуется разработка генераторов событий для моделирования процессов e^+e^- аннигиляции в шесть пионов. Эта работа начата. Будет также проведено моделирование фоновых процессов: $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-2\pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-3\pi^0$ и других.

4.6 Процесс $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$

Результат по измерению сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$, полученный по данным СНД 2010 года, был опубликован в работе [15]. Здесь приводится предварительный результат по данным, набранным в 2010 и 2011 годах в области энергии $2E = 1.05\text{--}2.00$ ГэВ.

На рис. 15 приведено сечение изучаемого процесса, полученное в данной работе, и результаты предыдущих измерений на детекторах СНД [16], КМД-2 [17], CLEO [18] и DM2 [19]. Сечение [19] измерено в канале $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ и было пересчитано с учетом относительных вероятностей распадов ω мезона, взятых из PDG [20]. Сечение [18] было вычислено из спектральной функции $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ в предположении сохранения векторного тока. Интересно отметить, что наивное использование выражения, основанного на гипотезе о сохранении векторного тока, дает результат сдвинутый на 7-10 %. Также на рис. 15 приведен результат совместной аппроксимации данных СНД, полученных в этой работе и в работе [16]. Для аппроксимации была использована модель векторной доминантности с $\rho(770)$, $\rho(1450)$ и $\rho(1700)$ в промежуточном состоянии.

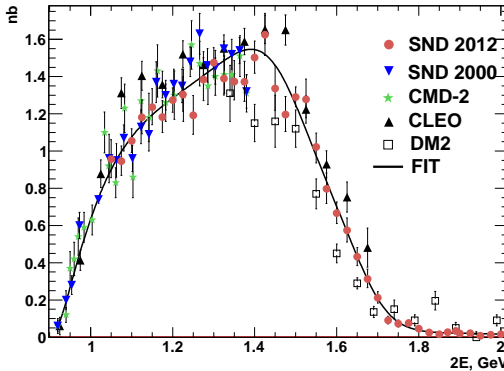


Рис. 15. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$. На рисунке представлены результаты СНД 2012 (эта работа), СНД 2000 [16], КМД-2 [17], CLEO [18] и DM2 [19]. Кривая – результат совместной аппроксимации данных СНД 2012 и СНД 2000.

4.7 Процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$

Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ проводилось в диапазоне энергии $2E = 1100 - 2000$ МэВ по данным 2010 и 2011 годов.

Предварительно отбирались события с двумя и более заряженными частицами и четырьмя и более фотонами. Наличие лишних заряженных частиц и фотонов допускалось, чтобы по возможности избежать потери событий с наложениями фотонов пучкового фона и ложных фотонов от ядерного взаимодействия пионов в веществе детектора. Для отобранных событий параметры треков и кластеров перевычислялись с использованием информации о положении точки аннигиляции. Точка вылета в xy плоскости фиксировалась по результатам калибровки положения места встречи пучков, а z -координата вершины вычислялась методом «взвешенного среднего» для двух треков, имеющих $|z| < 15$ см и $R < 1$ см. Если таких треков оказывалось больше двух, то выбиралась пара, имеющая наилучший χ^2 фита в точку аннигиляции.

Далее в два этапа, сначала в гипотезе $\pi^+\pi^-4\gamma$, а затем в гипотезе $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, проводилась кинематическая реконструкция событий. Перебирались все возможные комбинации пар фотонов и выбиралась комбинация, обеспечивающая минимальное значение χ^2 в гипотезе $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$.

Окончательно отбирались события, для которых двухфотонные массы кандидатов в π^0 -мезоны, вычисленные после реконструкции в гипотезе $\pi^+\pi^-4\gamma$, лежали в диапазоне 70–200 МэВ, а χ^2 кинематической реконструкции в гипотезе $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ был меньше 40. Эффективность регистра-

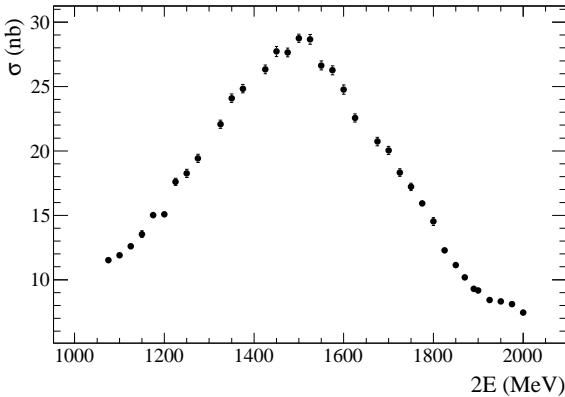


Рис. 16. Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, измеренное СНД.

ции, определенная по моделированию методом Монте-Карло, составила около 30%. Она слабо зависит от энергии и при $E > 900$ МэВ снижается на 5–10%. В первичном генераторе учитывались следующие промежуточные состояния: $\omega\pi^0$, $a_1\pi$, $\rho^+\rho^-$, $f_0\rho^0$, соотношение между которыми фиксировалось по результатам измерений в других экспериментах. Светимость измерялась по событиям упругого e^+e^- рассеяния.

Радиационная поправка рассчитывалась методом Монте-Карло: вычислялось сечение с учетом и без учета радиационной поправки в каждой точке по энергии. Точность вычисления радиационной поправки таким способом составила приблизительно 5%. Измеренное сечение показано на рис. 16. Систематическая ошибка в настоящий момент составляет около 20%. Ее большая величина связана, главным образом, с некорректной версией GEANT4, использованной при моделировании. В рамках этой ошибки полученное сечение не противоречит предыдущим измерениям.

4.8 Процесс $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ было измерено по данным 2011 года. Для изучения эффекта использовалась статистика шести энергетических точек выше порога рождения протон-антипротонных пар, а для измерения фонового сечения — статистика двух точек ниже порога. В области от порога до 1.91 ГэВ ионизационный пробег образовавшихся заряженных нуклонов меньше толщины вакуумной камеры ВЭПП-2000, поэтому протон не регистрируется трековой системой, а аннигиляция антипротона порождает вторичные заряженные частицы, имеющие общую точку вылета на стенке вакуумной камеры. При энергии выше 1.92 ГэВ протон и антипротон регистрируются трековой системой как два коллинеарных трека с большой плотностью ионизации.

Основным условием отбора событий в двух энергетических точках вблизи порога было наличие трех и более заряженных треков, вылетающих из общей вершины на стенке вакуумной камеры. Два трека с наибольшими энерговыделениями в калориметре должны иметь $R > 0.3$ см, $|\Delta\phi| > 5^\circ$ и $|\Delta\theta| > 10^\circ$. Полное энерговыделение в калориметре должно находиться в диапазоне от 650 до 1400 МэВ. Эффективность регистрации для этих условий отбора, полученная по моделированию, составляет 21%.

Для четырех энергетических точек от 1.925 до 2.000 ГэВ требовалось наличие двух коллинеарных ($|\Delta\phi| < 10^\circ$, $|\Delta\theta| < 20^\circ$) центральных ($R < 0.5$ см, $|z| < 10$ см, $|z_1 - z_2| < 2.5$ см) треков с величиной dE/dx в 1.3 раза превышающей среднюю величину для треков упругого

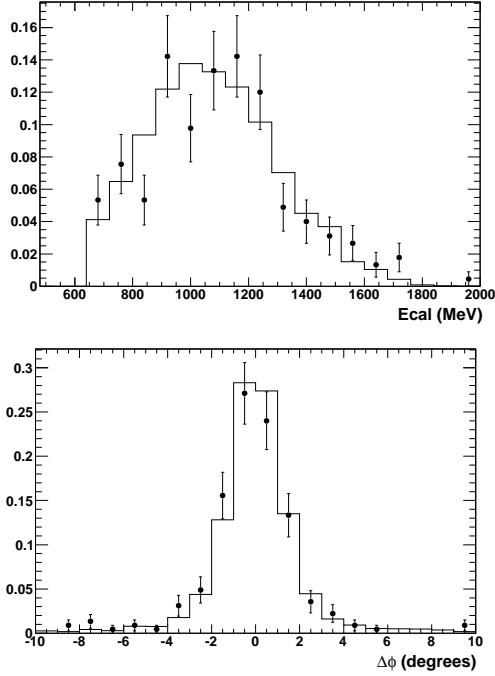


Рис. 17. Сравнение экспериментальных распределений отобранных событий процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ (точки) с результатами моделирования (гистограмма) при $2E = 2$ ГэВ. Приведены распределения по полному энерговыделению в калориметре (вверху) и углу расколлинеарности в плоскости xy (внизу).

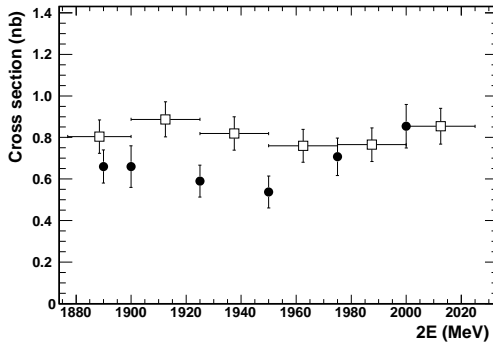


Рис. 18. Энергетическая зависимость сечения процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$. Круги – предварительные результаты СНД, квадраты – результаты BABAR [21].

e^+e^- рассеяния. Требовалось отсутствие дополнительных треков с $R < 0.5$ см. Полное энерговыделение в калориметре должно превышать 650 МэВ, а энерговыделение в калориметре для одной из отобранных коллинеарных частиц должно быть меньше 300 МэВ. Использование низкого значения порога по dE/dx по сравнению с отношением реальных плотностей ионизации протонных и электронных треков, превышающим 10 в исследуемой области энергии, вызвано работой трековой системы СНД в режиме ограниченной пропорциональности. Эффективность регистрации, вычисленная по моделированию для этих условий отбора, находится в пределах от 45% до 58% при энергии от 1.925 до 2.000 ГэВ.

Сравнение распределений отобранных событий по полному энерговыделению в калориметре и расколлинеарности в плоскости xy с соответствующими распределениями для моделированных событий процесса $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ приведено на рис. 17. Видно, что наблюдаемые в эксперименте распределения хорошо согласуются с моделированными.

Предварительные результаты СНД по борновскому сечению процесса приведены на рис. 18. Показаны только статистические погрешности. Анализ систематических погрешностей пока не завершен.

4.9 Процесс $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$

Продолжался анализ процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ по данным 2011 года. Условия отбора в целом остались прежними (см. [2]), добавлен лишь отбор по новому параметру $shcosm$ для подавления широких атмосферных ливней в калориметре, которые пропускаются системой антисовпадений. Построено временное распределение для кандидатов в события $n\bar{n}$, показывающее наличие временной задержки на расчетном уровне, а также угловые и энергетические распределения. Для оценки систематики в сечении процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ варьировались условия отбора (рис. 19). Для систематической ошибки получена оценка 40%. Среднее сечение в диапазоне энергии от порога до 2 ГэВ составляет 0.44 ± 0.18 нб (ошибка статистическая). Более подробное описание анализа дается в отдельном препринте [22].

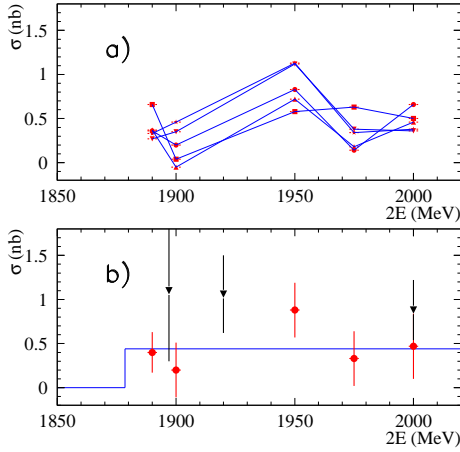


Рис. 19. а) изменение измеренного сечения $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ при вариации условий отбора, линии соединяют точки с одинаковыми условиями отбора; б) усредненное по нескольким вариантам отбора сечение процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ (круги), данные FENICE [23] (треугольники).

5 Заключение

В сезоне 2011–2012 гг. продолжались эксперименты с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000. В диапазоне энергии 1280 – 1980 МэВ были записаны данные с интегральной светимостью около 13 пб^{-1} .

Продолжалась модернизация детектора СНД, необходимая для продолжения набора данных во всем диапазоне энергии ВЭПП-2000. Проводился ремонт электроники калориметра и продолжались испытания нового АЦП для измерения времени пролета нейтронов. Сделана калибровка черенковского счетчика, позволяющая использовать его для идентификации частиц, соответствующее программное обеспечение разрабатывается.

Продолжался анализ данных, записанных в 2010 и 2011 годах, и начала обработка новых данных текущего 2012 года. Приводятся предварительные результаты анализа процессов: $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$, $\pi^+\pi^-\pi^0$, $K_S K_L$, $\eta\gamma$, 6π , $\omega\pi^0$, $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$, $p\bar{p}$, $n\bar{n}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, базовых проектов ИЯФ СО РАН 13.1.1. и 13.3.1., проекта Отделения физических наук ОФН.1.1.2., грантов РФФИ 12-02-00065-а, РФФИ 12-02-01250-а, РФФИ 11-02-00276-а и научной школы НШ 5320.2012.2.

Список литературы

- [1] М.Н. Ачасов и др. Препринт ИЯФ 2009-10 (2009), Новосибирск.
- [2] П.М. Астигеевич и др. Препринт ИЯФ 2011-21 (2011), Новосибирск.
- [3] Г.Н. Абрамов и др. Препринт ИЯФ 2009-19 (2009), Новосибирск.
- [4] Г.Н. Абрамов и др. Препринт ИЯФ 2007-20 (2007), Новосибирск.
- [5] Г.Н. Абрамов и др. Препринт ИЯФ 2005-35 (2005), Новосибирск.
- [6] Г.Н. Абрамов и др. Препринт ИЯФ 2004-46 (2004), Новосибирск.
- [7] Г.Н. Абрамов и др. Препринт ИЯФ 2003-45 (2003), Новосибирск.
- [8] Г.Н. Абрамов и др. Препринт ИЯФ 2001-29 (2001), Новосибирск.
- [9] V. Aubert *et al.* (BABAR Collaboration). Phys. Rev. D, **76**, 092005 (2007).
- [10] V. Aubert *et al.* (BABAR Collaboration). Phys. Rev. D, **70**, 072004 (2004).
- [11] F. Mane *et al.* (DM1 Collaboration) Phys. Lett. B, **99**, 261 (1981).
- [12] M. N. Achasov *et al.* (SND Collaboration). J. Exp. Theor. Phys., **103**, 720 (2006).
- [13] R. Baldini *et al.*, reported at the “Fenice” Workshop, Frascati (1988).
- [14] V. Aubert *et al.* (BABAR Collaboration). Phys. Rev. D, **73**, 052003 (2006)
- [15] M.N. Achasov *et al.* (SND Collaboration). JETP Lett., **94**, 2 (2012).
- [16] M.N. Achasov *et al.* (SND Collaboration). Phys. Lett. B, **486** 29 (2000).
- [17] R.R. Akhmetshin *et al.* (CMD-2 Collaboration). Phys. Lett. B, **562** 173 (2003).
- [18] K.W. Edwards *et al.* (CLEO Collaboration). Phys. Rev. D, **61**, 072003 (2000).
- [19] D. Bisello *et al.* (DM2 Collaboration). Nucl. Phys. Proc. Suppl., **21**, 111 (1991).
- [20] K. Nakamura *et al.* (Particle Data Group). J. Phys. G, **37** 075021 (2010).
- [21] V. Aubert *et al.* (BABAR Collaboration). Phys. Rev. D, **71**, 012005 (2006).
- [22] В.М. Аульченко и др. Препринт ИЯФ 2012-14 (2012), Новосибирск.
- [23] A. Antonelli *et al.* (FENICE Collaboration). Phys. Lett. B, **313**, 283 (1993); Nucl. Phys. B, **517**, 3 (1998).

*Е.В. Абакумова, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, А.Ю. Барняков,
К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, Д.Е. Беркеев, В.Е. Блинов,
А.Г. Богданчиков, А.А. Ботов, Д.А. Бужин, А.В. Васильев,
В.М. Весенев, Е.А. Власенко, В.Б. Голубев, К.А. Гревцов,
Т.В. Димова, В.П. Дружинин, А.А. Жуков, И.М. Землянский,
Л.В. Кардапольцев, А.Н. Кирпотин, Д.П. Коврижин, И.А. Кооп,
А.А. Король, С.В. Кошуба, Е.А. Кравченко, А.Ю. Кульпин,
А.С. Купич, А.П. Лысенко, К.А. Мартин, И.Н. Нестеренко,
А.Е. Образовский, В.П. Олейников, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова,
Е.А. Переведенцев, Е.Э. Пята, Ю.А. Розовский, А.Л. Романов,
С.И. Середняков, З.К. Силагадзе, А.А. Сироткин, К.Ю. Сковпень,
А.Н. Скринский, И.К. Сурин, А.И. Текутьев, Ю.А. Тихонов,
Ю.В. Усов, А.Г. Харламов, П.Ю. Шатунов, Ю.М. Шатунов,
Д.Б. Шварц, Д.А. Штоль, А.Н. Шукаев*

**Статус экспериментов с детектором СНД
на коллайдере ВЭПП-2000**

E.V. Abakumova, V.M. Aulchenko, M.N. Achasov, et al.

**Status of experiments with the SND detector
at the collider VEPP-2000**

ИЯФ 2012-14

Ответственный за выпуск А.В. Васильев

Работа поступила 26.06.2012 г.

Сдано в набор 28.06.2012 г.

Подписано в печать 29.06.2012 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1,8 печ.л., 1.4 уч.-издл.

Тираж 135 экз. Бесплатно. Заказ № 20

Обработано на РС и отпечатано на
ротапринте ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.