Исследование образования резонансов в пион-ядерных взаимодействиях

Предложение эксперимента
Сотрудничество BEC, Протвино, ИФВЭ
Декабрь, 1998 г

Аннотация

Предлагается завершить модернизацию установки BEC и осуществить на этой установке набор статистики в двух больших сеансах для проведения следующих исследований:

- образование различных состояний в кулоновском поле ядер;
- энергетическая и A-зависимость дифракционного образования резонансов;
- поиск дифракционного образования чармованных частиц;
- исследование редких распадов мезонных резонансов.

1 Введение

В настоящем предложении рассмотрена новая программа исследований на установке BEC до 2001 года. Предложение о создании установки BEC и программа первоочередных исследований на этой установке были одобрены координационным советом ИФВЭ в 1986 году. В 1989 году был осуществлен комплексный запуск установки и набрана первая статистика, пригодная для физического анализа. В 1997 г был закончен набор статистики.

Схема установки BEC приведена на рис.1. Установка имеет в своем составе широкоапертурный магнитный спектрометр с трековыми детекторами на основе пропорциональных и дрейфовых камер, многоканальный пороговый черенковский счетчик для идентификации вторичных частиц, детектор γ-квантов на основе тяжелого стекла, годоскоп и систему сцинтилляционных счетчиков для выработки триггера на запись данных, высокоскоростную систему сбора данных. С 1989 г. по 1996 г. на установке было проведено 5 сеансов с набором данных для физического анализа.

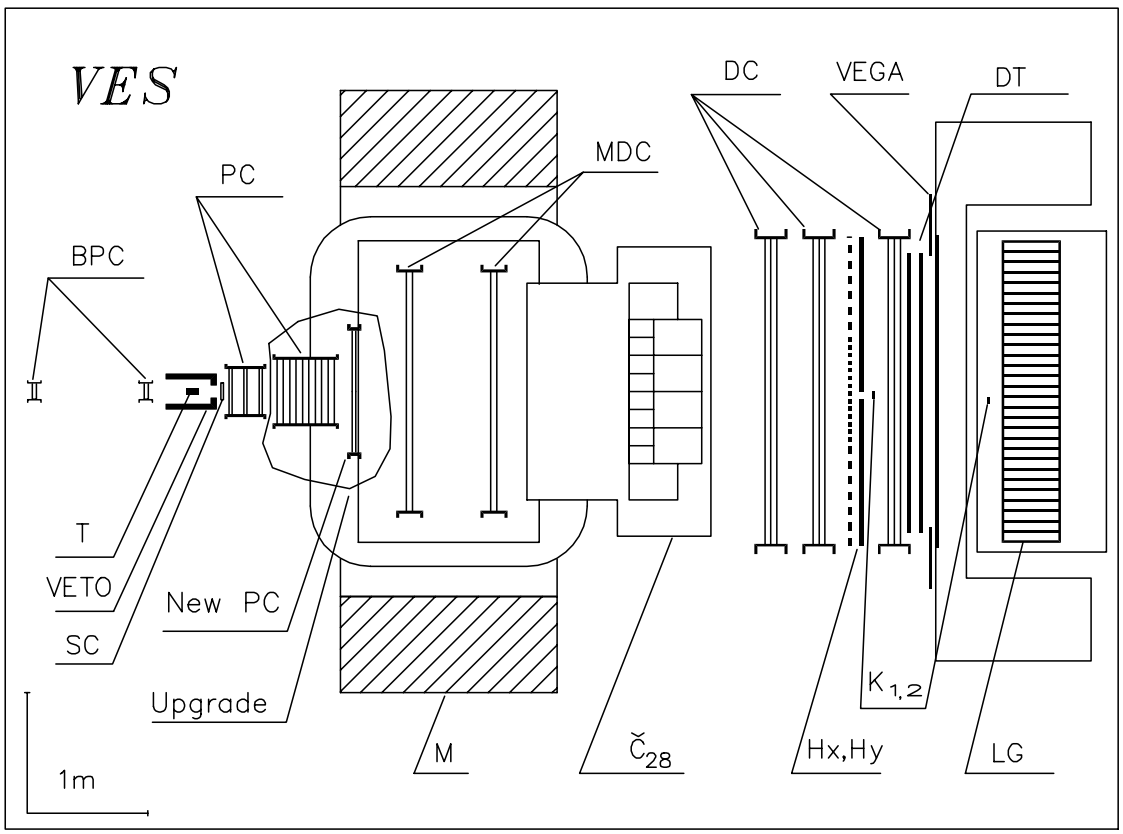

Рис. 1: Схема установки BEC. Обведены неровной линией головные камеры, подвергнутые модернизации. DT - дрейфовые трубки

В разных сеансах набор данных проводился при несколько различных условиях (пучок, мишень, триггер). Основной объем данных получен на пучке отрицательных пионов с импульсом 37 ГэВ/с с бериллиевой мишенью и триггером, отбирающим события с образованием не менее двух заряженных частиц в передней полусфере и отсутствием заряженных частиц в задней полусфере. Суммарная статистика набранных событий превосходит 10^9 . Из них около половины это реконструируемые события, пригодные для физического анализа.

К настоящему моменту проведена реконструкция событий для трех сеансов из пяти. Эта статистика, составляющая около 30% от всей набранной, используется для физического анализа. Реконструкция оставшейся части статистики будет завершена в 1999г.

Основной задачей первого этапа эксперимента являлось исследование характеристик мезонных резонансов с массами 1,5 - 2,0 ГэВ. Основные результаты этих исследований состоят в следующем [1-25]:

- обнаружена экзотическая волна $J^{pc} = 1^{-+}$ в ряде систем - $\eta\pi,\ \eta'\pi, b_1\pi, f_1\pi$. Аномальное отношение интенсивностей $\eta'\pi/\eta\pi$ в этой волне, свидетельствует о гибридной природе волны в канале $\eta'\pi$. Получены указания на резонансные свойства этой волны.

- исследованы распады резонанса $\pi(1800)$ в различные конечные со-

стояния, обнаружены аномалии в относительных вероятностях распадов.

- обнаружены новые состояния - $a_1(1700),\ a_2(1650),\ a_3(1850)$

- обнаружен ряд новых распадов резонансов - $f_1 \to \rho\gamma,\ f_1 \to \eta f_0,\ \rho_3 \to a_2\pi,\ a_4 \to \omega\rho,\ ,\pi_2(1670) \to \omega\rho$ ....

- найдены квантовые числа состояний X(1600) и X(1900) в системе $\omega\omega$

- наблюдена реакция $\pi^- p \to \eta'\eta' n$, показано, что сечение этой реакции аномально велико

- наблюдено и исследовано образование системы $\eta\pi$ в кулоновском поле.

Обработка набранной статистики будет продолжаться до 2001 года. Основное внимание будет уделено исследованию экзотической волны $J^{pc} = 1^{-+}$, исследованию характеристик $\pi(1800)$, систематическому исследованию резонансов со странностью (T=1/2).

Параллельно с этой деятельностью мы предлагаем завершить модернизацию установки BEC и провести новый цикл измерений. Основные направления модернизации состоят в следующем:

- замена головных пропорциональных камер (ПК-2 на рис.1) на новые, более совершенные;

- создание двух плоскостей дрейфовых детекторов на основе тонкостенных алюминиевых трубок в дополнение к существующей системе больших дрейфовых камер;

- оптимизация взаимного расположения детекторов;

- усовершенствование триггерной электроники;

- замена части контроллеров и буферных памятей на новые, более совершенные;

- замена "on-line" ЭВМ ТРА на Альфа-станцию.

Совокупность этих усовершенствований позволит увеличить темп набора статистики, повысить точность и эффективность реконструкции событий.

Основные работы по модификации установки BEC уже выполнены и будут полностью завершены в начале 1999 года. Мы предлагаем провести два больших сеанса по набору статистики в 1999 и 2000 гг. Ожидаемая скорость приема данных будет составлять $5 * 10^3$ событий/цикл, так что за два сеанса (50 дней эффективной работы) будет набрана статистика свыше $2 * 10^9$ событий. Измерения будут проведены при двух энергиях пучка 23 ГэВ и 46 ГэВ и на четырех различных мишенях: Be, C, Al, Cu. Наибольшая часть данных (60%) будет набрана при энергии пучка 46 ГэВ на мишени из углерода.

Эти данные будут использованы для проведения следующих исследований:

- изучение образования различных состояний в кулоновском поле ядер

- изучение энергетической и A-зависимости образования различных резонансов

- поиск дифракционного образования пары чармованных мезонов

- поиск и исследование редких распадов резонансов.

В последующих разделах Предложения приведены планируемые характеристики установки BEC после модификации и ожидаемые физические результаты.

2 Развитие установки

2.1 Канал

Установка расположена на канале 4, спроектированном для работы с пучками отрицательных частиц в диапазоне импульсов от 25 ГэВ до 40 ГэВ.

Для исследования образования резонансов в кулоновском поле ядер, а также и для решения других задач весьма полезно увеличение максимального импульса. Такие возможности на канале N4 существуют. В 1997г. был испытан режим канала, позволяющий получить интенсивность пучка свыше $3 * 10^6\pi$ /цикл с импульсом 46 ГэВ/с при сбросе на мишень ускорителя $5 * 10^{11}$ протонов/цикл. Этот режим будет использован для набора 80% статистики. Минимальный импульс пучка будет около 23 ГэВ. На этом импульсе будет набрано около 20% статистики. Это значение минимального импульса выбрано так, чтобы обеспечить приемлемую геометрическую эффективность установки при регистрации многочастичных распадов резонансов с массами 1,5-2,0 ГэВ.

2.2 Мишень

В большинстве экспозиций на установке BEC использовалась мишень из бериллия, представляющая собой цилиндр диаметром 45 мм и длиной 40 мм. Бериллий был выбран как достаточно компактный материал с малым атомным весом, так что ядерные эффекты не сильно портят физическую картину, а в ряде случаев даже оказываются полезными. В новом эксперименте основная мишень будет сделана из углерода.

Использование углерода позволит несколько увеличить относительную интенсивность кулоновского сигнала и уменьшить фон от адронных реакций благодаря нулевому изоспину ядра. На этой мишени будет набрано около 80% статистики. Кроме того, для изучения A-зависимости адронных реакций и Z-зависимости кулоновских реакций будут использованы мишени из бериллия, алюминия и меди. Во всех случаях толщина мишени будет 0.1 радиационной длины.

2.3 Головные камеры

В установке BEC сразу после мишени расположена система из 16 пропорциональных камер - 6 плоскостей размером 248x248 мм и 10 плоскостей

400x600 мм [26]. В связи с разнообразными недостатками прежней конструкции камер 400x600 мм, приводившими к потерям статистики, эффективности реконструкции и точности, они заменены на камеры такого же размера,но имеющие более совершенную конструкцию. Кроме того, в состав головной системы включены две камеры размером 600x1000 мм. Совокупность этих усовершенствований позволит :

- повысить эффективность реконструкции треков;
- повысить надежность работы трековой системы ;
- упростить эксплуатацию трековой системы;
- резко повысить эффективность реконструкции распадов K^0 и Λ;
- включить часть камер в триггер.

2.4 Дрейфовые трубки

Система больших дрейфовых камер после магнита, состоящая из девяти плоскостей, дополнена двумя плоскостями алюминиевых дрейфовых трубок. Это позволит повысить надежность системы, повысить эффективность реконстукции событий и улучшить точность измерения параметров треков в жесткой части спектра.

2.5 Система сбора данных

В старом варианте[27] система сбора данных обладала следующими характеристиками:

- мертвое время $\approx$ 70 мксек/событие
- длина события 1 килобайт
- буферная память 4 мбайт

В характерном режиме работы принималось $3.4 * 10^3$ событий за цикл при $\approx$ 30% мертвого времени.

Новые контроллеры АЦП позволят снизить мертвое время до $\approx$ 60 мксек. Буферная память будет увеличена вчетверо[28]. В совокупности это позволит увеличить темп приема данных на $\approx$ 25% и довести среднее число событий за цикл до $5 * 10^3$.

3 Исследование образования резонансов на ядрах

Исследование образования резонансов на ядрах позволяет получать нетривиальную информацию о свойствах этих резонансов. Уже в первых экспериментах по исследованию дифракционного образования трех пионов на ядрах [30, 31] , выполненных при энергиях 9-23 ГэВ, при анализе данных в рамках модели Колбига-Марголиса [29] были получены указания на то, что сечение взаимодействия резонанса $\pi(1300)$ с нуклоном существенно больше (в $\approx$ два раза), чем сечение взаимодействия

$a_1(1300)$. Измерения при более высоких энергиях качественно подтвердили эти наблюдения [32]. На первый взгляд, с точки зрения кварковой модели этот эффект выглядит противоестественно. Вместе с тем, этот результат указывает на то, что в образовании резонансов на ядрах некие характеристики резонансов проявляются в яркой форме.

В последние годы был достигнут значительный прогресс в понимании процессов дифракционного образования резонансов на ядрах [33, 34, 35, 36, 37] . Построена модель, качественно описывающая картину и в ряде случаев дающая количественное описание[34, 37] . В рамках этой модели наблюдаемое различие эффективных сечений взаимодействия с нуклоном резонансов $a_1(1300)$ и $\pi(1300)$ находит естественное объяснение [34]. Эффект вызван тем, что $\pi(1300)$ представляет собой радиальное возбуждение системы кварк-антикварк, так что волновая фукция зануляется при малых расстояниях между кварком и антикварком, вследствие чего такие конфигурации не могут просочиться через толстое ядро.

В целом, в этой модели картина образования резонансов на ядрах выглядит как процесс регенерации в веществе системы из многих состояний в результате которого появляется весьма живописная картина из наблюдаемых резонансов.

Следует подчеркнуть, что предыдущие эксперименты были выполнены на сравнительно небольшой статистике с сильно упрощенной моделью парциально-волнового анализа. Это препятствует детальному анализу обсуждаемых процессов в рамках современных моделей.

Особенно интересным представляестся изучение образования резонансов на ядрах при импульсах масштаба 20-50 ГэВ. Это вызвано тем, что резонансы пролетают до распада расстояние $L[ферми] \approx p[GeV] * 0.2/(M * \Gamma)$. В зависимости от импульса, ширины и массы резонанса это расстояние оказывается в диапазоне 10-100 ферми, так что варьируя размеры ядер можно проследить за изменением характеристик процесса, связанных с тем, что в одних случаях распад происходит внутри ядер, а в других - за пределами ядер.

Мы планируем набрать статистику масштаба 10^8 на ядрах Be, Al, Cu и 10^9 на ядре C. Это позволит измерить со статистической точностью лучше процента относительные сечения образования различных резонансов на этих ядрах

$a_1(1300)$, $a_1(1700)$, $\pi(1300)$, $\pi(1800)$, $\pi_2(1670)$,

$a_2(1320)$, $a_3(1850)$, $a_4(2050)$,"ρ"(1600).

Для абсолютной нормировки сечений на каждом ядре будет набрана статистика $5 * 10^7$ событий с запуском установки пучковой частицей, что позволит определить абсолютные сечения с точностью в несколько процентов.

Эти данные позволят найти A-зависимость и энергетическую зависимость образования резонансов, систематизировать эти зависимости и выявить особенности в образовании различных резонансов, в том числе, кандидатов в гибриды.

4 Исследование образования различных конечных состояний пионами в кулоновском поле

Одной из основных задач предлагаемого эксперимента будет систематическое исследование поцессов образования различных систем в кулоновском поле ядер [40].

Мы планируем получить данные о следующих амплитудах:

$\eta\pi\pi\gamma,\ a_2(1320)\pi\gamma,\ a_1(1260)\pi\gamma, b_1\pi\gamma.$

Эти процессы уже наблюдались и изучались ранее. Первый из перечисленных наблюден и изучен на установке ВЕС [22], три последних в ФНАЛ [41, 42, 43]. Недавно предварительные данные по процессу $a_2(1320)\pi\gamma$ представлены сотрудничеством СЕЛЕКС [44]. Характерная точность в определении вероятности этих процессов составляет 20%. В предлагаемом эксперименте эта точность будет значительно повышена и доведена до уровня масштаба 5%.

Кроме того, будут предприняты попытки наблюдения новых процессов: $\eta'\pi\gamma,\ \pi_2(1670)\pi\gamma,\ a_1(1700)\pi\gamma.$

Возможности предлагаемого эксперимента проиллюстрируем на примере реакции $\pi^-\gamma \to \pi^-\eta$.

Амплитуда этой реакции может быть записана в виде

$M_{\eta\pi\pi\gamma} = -i\epsilon_{\mu\nu\rho\sigma}A^\mu p^\nu_{\pi^+} p^\rho_{\pi^-} p^\sigma_\eta F_{\eta\pi\pi\gamma}(s,t,u)$

В киральном пределе амплитуда процесса определяется вкладом четырехугольной аномалии, вследствие чего для $F_{\eta\pi\pi\gamma}(0,0,0)$ получается следующее выражение

$F_{\eta\pi\pi\gamma}(0) = \frac{e}{4\pi^2 f_\pi^3}(\frac{f_\pi}{f_8}\frac{cos\theta_p}{\sqrt{3}} - \frac{f_\pi}{f_0}\sqrt{\frac{2}{3}}sin\theta_p)$

Зесь $f_{\pi,0,8}$ распадные константы для пиона, синглета и октета, θ_p - угол синглет-октетного смешивания для псевдоскаляров [38].

Для теоретического анализа представлялет интерес как значение $F_{\eta\pi\pi\gamma}$ в киральном пределе, так и зависимость этой величины от кинематических переменных [39].

Сечение образования системы $\eta\pi$ в кулоновском поле дается формулой

$\frac{d\sigma}{ds dq^2} = \frac{Z^2\alpha}{\pi}\frac{q^2-q^2_{min}}{q^4}\frac{1}{s-m^2_\pi}\frac{p^3 p_{\pi\text{СЦМ}}}{48\pi}F^2_{\eta\pi\pi\gamma}$

Характерной особенностью этой реакции является узкая t - зависимость сечения. Эта особенность с одной стороны позволяет достаточно надежно выделять процесс, а с другой - при при ограниченной энергии пучка приводит к быстрому падению сечения с ростом массы образуемой системы за счет обрезания по $t_{min} = \frac{(m^2_{\eta\pi}-m^2_\pi)^2}{4p^2_{pi}}$.

В эсперименте ВЕС было наблюдено 109 ± 23 событий кулоновского образования системы $\eta\pi^-$ с малыми массами $M_{\eta\pi} < 1.18$ ГэВ. В результате анализа этих данных и данных по распаду $\eta\pi\pi\gamma$ найдены значения $F_{\eta\pi\pi\gamma}$ в киральном пределе и значение параметра $M_{\rho э ф ф}$, определяющего зависимость $F_{\eta\pi\pi\gamma}$ от кинематических переменных:

$F_{\eta\pi\pi\gamma}(0,0,0) = 6.9 \pm 0.7 \text{ГэВ}^{-3}$

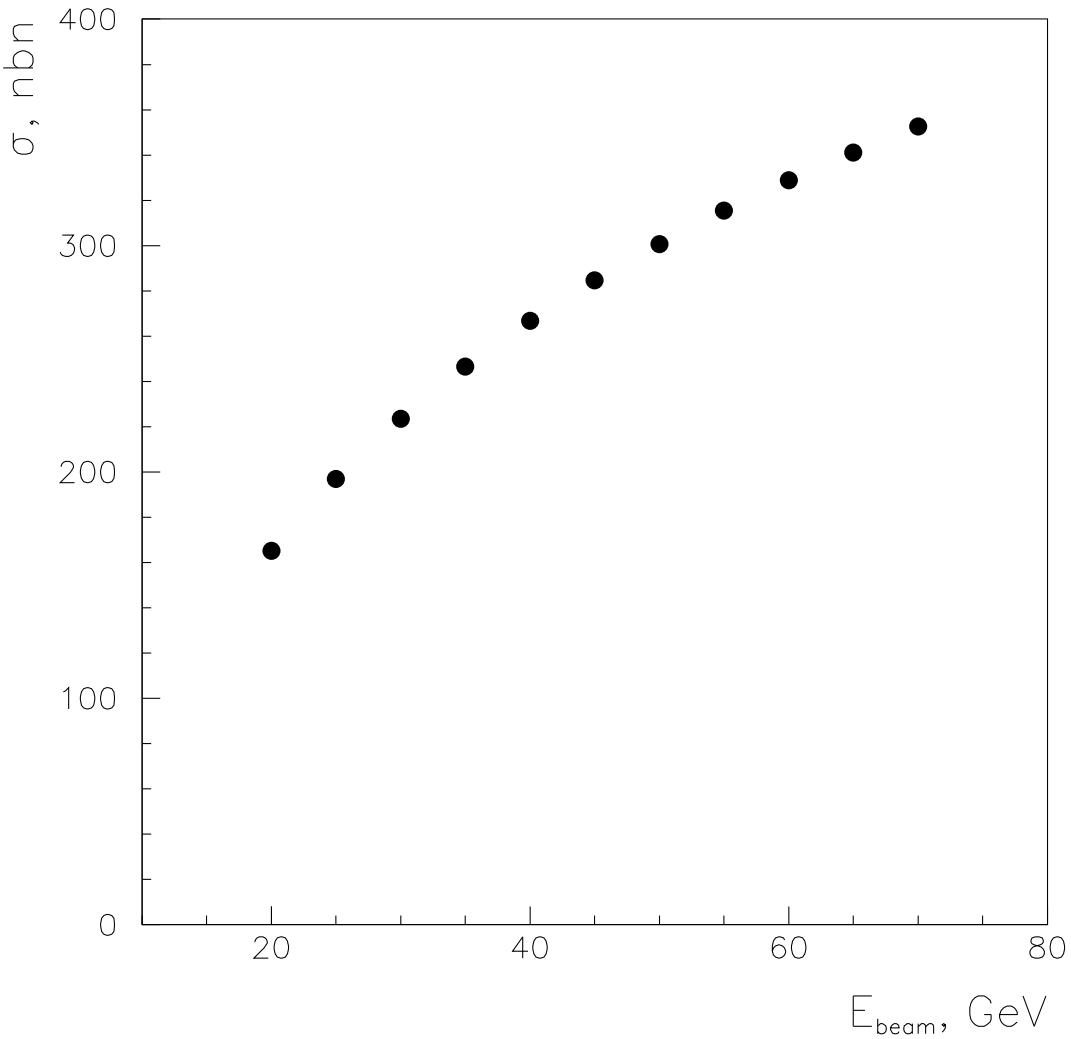

Рис. 2: Зависимость от энергии сечения кулоновского образования на ядре углерода системы $\eta\pi$ с малыми массами $M < 1.18$ ГэВ

$M_{резф} = 900 \pm 120$ МэВ

Этот результат получен на суммарной статистике $8 * 10^7$ реконструированных событий взаимодействия пионов с ядром бериллия при импульсе 37 ГэВ/с с образованием двух и более заряженных частиц в передней полусфере.

В новом эксперименте эта статистика будет увеличена почти в двадцать раз благодаря следующим факторам:

- увеличение количества зарегистрированных взаимодействий в ≈ 10 раз

- повышение импульса пучка с 37 ГэВ/с до 45 ГэВ/с , что увеличивает сечение на $\approx 30\%$

- переход от бериллия к углероду, что эффективно увеличивает количество кулоновских событий на $20 - 30\%$

Кроме того, в результате перехода к углероду и повышения энергии улучшится фоновая ситуация.

Таким образом, можно ожидать статистической точности в $3 - 4\%$.

Мы планируем предпринять комплекс мер, чтобы обепечить абсолютное измерение сечений с точностью лучше 5%.

На рис. 2 и рис. 3 приведены сечения кулоновского образования на ядре углерода системы $\eta\pi$ с малыми массами и a_2-мезона.

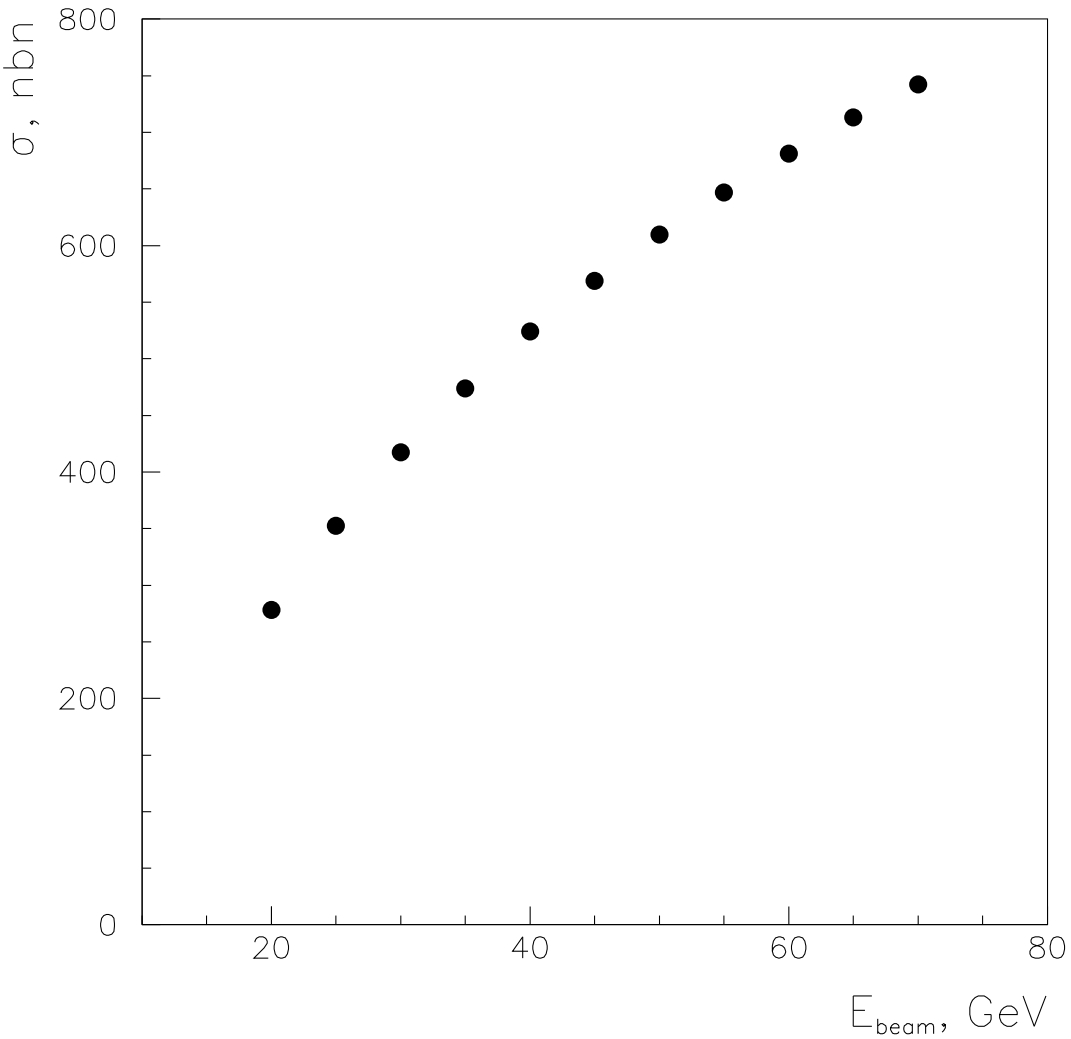

Рис. 3: Зависимость от энергии сечения кулоновского образования на ядре углерода системы $a_2(1320)$-мезона

5 Поиск дифракционного образования чармованных частиц

На тех же данных будет осуществлен поиск процессов дифракционного образования чармованных и J/Ψ мезонов:

$\pi^- N \to D^- D^0 N$

$\pi^- N \to D^{*-} D^0 N$

$\pi^- N \to D^- D^{*0} N$

$\pi^- N \to J/\Psi + \pi^- + n\pi^0 N$

D- мезоны будут регистрироваться по каналам:

$D^- \to K^+\pi^-\pi^-, \quad K^+\pi^- e\nu$

$D^0 \to K^-\pi^+, \quad K^-\pi^+\pi^0$

Такие процессы до сих пор не наблюдались [46]. Они представляют интерес по ряду причин. В частности, сравнительно большие сечения дифракционного образования чармованных частиц получаются в модели внутреннего чарма [45]. Основная идея этой модели состоит в том, что из-за не слишком большой по сравнению с Λ_{QCD} массы C-кварков в ряде случаев могут оказаться существенными непертурбационные эффекты. Тогда в обычном легком адроне с какой-то вероятностью k кварки $C(\bar{C})$ могут быть не морскими, а валентными и забирать на себя почти весь

импульс адрона. В работе [47] на основании анализа различных данных показано, что параметр k может достигать значения $k \approx 0.01$. На рис. 4 приведена оценка зависимости сечения от энергии дифракционного образования чарма на нуклоне и ядре углерода. При импульсе $p_\pi \approx 46$ ГэВ/с это сечение может быть масштаба долей микробарна.

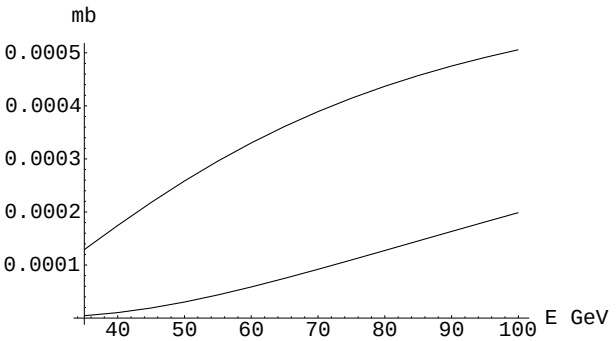

Рис. 4: Зависимость от энергии пучка сечения дифракционного образования чарма в модели внутреннего чарма для реакции на нуклоне (верхняя кривая) и для когерентной реакции на ядре углерода (нижняя кривая).

Такой уровень сечений вполне достижим в предлагаемом эксперименте. Для оценки наших возможностей мы провели поиск дифракционного образования чарма на имеющихся данных - статистика $8 * 10^7$ событий при $p_\pi = 37$ ГэВ. Оказалось, что в канале $D^-(K^+\pi^-\pi^-)D^0(K^+\pi^-\pi^0)$ на этой статистике фон мал, так что в пределах разрешения по массам D-мезонов не наблюдается ни одного события. Это приводит к ограничению сечения на уровне ≈ 0.1 мкб. Увеличив статистику на порядок и подобрав все возможные каналы дифракционного образования чарма, вполне возможно выйти на уровень сечений $\approx 10^{-2}$ мкб и, тем самым, либо наблюсти эти процессы, либо получить содержательные ограничения на модели дифракционного образования чарма.

6 Исследование редких процессов

Увеличение статистики окажется исключительно важным для исследования ряда редких процессов. В первую очередь мы планируем изучить разнообразные процессы с образованием η' мезонов:

$\pi^- p \to \eta'\eta' n$
$\pi^- p \to \eta'\pi^0 n$
$\pi^- p \to \eta'\pi^+\pi^- n$
$\pi^- N \to \eta'\eta\pi^- N$
$\pi^- N \to \eta'\pi^0\pi^- N$
$\pi^- p \to \eta'\pi^0\pi^0 n$
$\pi^- p \to \eta'\pi^+\pi^-\pi^0 n$

Почти все эти процессы вполне уверенно наблюдаются на установке BEC, однако имеющаяся статистика оказывается недостаточной для их детального изучения. В этих реакциях в силу большой связи η' с глюонами можно ожидать разнообразных эффектов, вызванных присутствием глюонов в тех или иных системах. Примером может служить наблюденное на установке BEC аномально сильное рождение волны 1^{-+} в канале $\eta'\pi^-$ [8]. Можно надеяться, что именно этот класс реакций окажется ключом для систематического изучения глюонных компонент в легких адронах.

Существует множество других интересных и перспективных каналов, где увеличение статистики представляется крайне желательным, например, радиационные распады - $f_1 \to \phi\gamma,\ f_1 \to \rho\gamma,\ f_2 \to \rho\gamma...$, редкие адронные распады - $\rho \to \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$, реакции с участием нескольких узких резонансов ϕ ,η ,ω (конечные состояния $\phi\eta,\ \phi\omega,\ \eta\omega,\ \phi\omega\pi...$) .

С увеличением статистики и с переходом к редким процессам повышаются требования к вычислительным мощностям и к качеству моделирования установки при обработке данных. В настоящее время реконструкция данных одного сеанса занимает около трех месяцев работы на ЭВМ класса POLAR. При планируемом повышении производительности ВЦ ИФВЭ реконструкция двух миллиардов событий выглядит вполне реальной задачей. Предпринимаются меры по совершенствованию процедур обработки - использование современных баз данных, переход на DLT, внедрение пакета GEANT и т.д.

Заключение

Предлагаемая программа позволит существенно расширить знания о свойствах легких мезонов. Это направление исследований представляется перспективным, поскольку именно в этой области можно ожидать радикального прогресса в понимании непертурбативной квантовой хромодинамики.

В ближайшем будущем в других научных центрах не предвидится серьезной конкуренции предлагаемым исследованиям.

На наш взгляд, одной из важнейших особенностей настоящего предло-

жения является то, что оно не требует больших капитальных вложений в создание аппаратуры и с гарантией даст доброкачественный научный выход.

Вместе с тем, необходимо отметить, что именно в этой области знаний физическая обработка является особенно трудоемкой и требует значительных объема работы квалифицированных специалистов. В настоящее время недопустимо низкий уровень оплаты труда заставляет их заниматься другими задачами, которые лучше оплачиваются, и не позволяет должным образом сконцентрироваться на обработке данных установки BEC. В связи с этим темпы и результаты предлагаемого эксперимента в огромной степени будут определяться уровнем оплаты труда участвующих в нем специалистов.

Список литературы

[1] A.Zaitsev, S.Bityukov, G.Borisov et al. *"Recent results from VES Detector at IHEP".*
Proc. of the IV^{th} Intern. Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron-91), College Park, Maryland, 1991, p.51.

[2] G.M. Beladidze, S.I.Bityukov, G.V.Borisov et al. *"Observation of Resonance with Mass m=1814 MeV, Decaying into* $\pi^-\eta\eta$*."*
Phys.Lett.B 268 (1991), 137. Preprint IHEP 91-26, Protvino 1991.

[3] G.M. Beladidze, S.I.Bityukov, G.V.Borisov et al. *"Observation of the Decay* $a_2^-(1320) \to \pi^-\eta'$*."*
Z.Phys.C 54 (1992), 235. Preprint IHEP 91-95, Protvino 1991.

[4] G.M. Beladidze, S.I.Bityukov, G.V.Borisov et al. *"Study of the reaction* $\pi^-p \to \omega\omega n$ *at* $p_{\pi^-} = 36$ *GeV/c."*
Z.Phys.C 54 (1992), 367. Preprint IHEP 91-156, Protvino 1991.

[5] G.M. Beladidze, S.I.Bityukov, G.V.Borisov et al. *"Study of process* $\pi^-A \to \pi^-\eta'\eta A$ *at the momentum 36 GeV/c."*
Ядерная физика, 55 (1992), 2748. Preprint IHEP 92-37, Protvino 1992.

[6] G.M. Beladidze, E.B.Berdnikov, S.I.Bityukov et al. *"Study of the reaction* $\pi^-p \to \eta'\eta' n$*."*
Z.Phys.C 57 (1992), 13. Preprint IHEP 92-62, Protvino, 1992.

[7] Zaitsev A.M., Berdnikov E.B., Bityukov S.I. et al. *"Latest results from VES facility."*
Proc. of the V^{th} Intern. Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron-93), Centro di Cultura Scinentifica A. Volta, Villa Olmo, Como, June 21-25, 1993, p.1941, Wold Scintific, Singapore.

[8] G.M. Beladidze, S.I.Bityukov, G.V.Borisov et al. *"Study of $\pi^- N \to \pi^- \eta N$, $\pi^- N \to \pi^- \eta' N$ at 37 GeV/c."*
Phys. Lett.B 313 (1993), 276. Preprint IHEP 93-62, Protvino, 1993

[9] Yu.P. Gouz, G.M. Beladidze, S.I. Bityukov et al. *"Study of the wave with $J^{PC} = 1^{-+}$" in the partial wave analysis of $\eta'\pi^-, \eta\pi^-, f_1\pi^-$ and $\rho^0\pi^-$ systems produced in $\pi^- N$ interactions at $p_{\pi^-} = 37$ GeV/c."*
XXVI Intern. Conference on High Energy Physics, Dallas, 6-12 August 1992, AIP conference proceedings No 272, NY, 1993, p.572.

[10] I.A. Kachaev, E.B. Berdnikov, S.I. Bityukov et al. *"Study of $\pi(1800)$ resonance in diffractive reactions."*
Ядерная физика 57 (NAN'93), (1994), 1610.

[11] D.V. Amelin, E.B. Berdnikov, S.I. Bityukov, et al. *"Study of the decay $f_1(1285) \to \rho^0(770)\gamma$".*
Z.Phys.C 66 (1995), 71. Preprint IHEP 94-91, Protvino, 1994.

[12] E.B. Berdnikov, S.I. Bityukov, G.V. Borisov, et al. *"Study of the reaction $\pi^- A \to K^+ K^- \pi^- A$ at 37 GeV/c."*
Phys.Lett. B 337 (1994), 219.

[13] A. Zaitsev, Amelin D.V., Berdnikov E.B. et al. *"Study of resonance production in $\pi^- N$ diffractive reactions at $P_{\pi^-} =$ 37 GeV/c."*
Proc. of the XXVII Intern. Conference on High Energy Physics, 20-27 July, 1994, Glasgow, Scotland, p.1409, Inst. of Phys. Publishing, Bristol and Phyladelphia

[14] Amelin D.V., Berdnikov E.B., Bityukov S.I. et al. *"Partial-wave analysis of the reaction $\pi^- p \to \pi^+\pi^-\pi^0 n$ at p_{π^-}=36 GeV/c. Study of $a_2(1320)$ and $\omega_3(1670)$ mesons".*
Z.Phys.C 80 (1996), 71. Preprint IHEP 95-71, Protvino 1995.

[15] Amelin D.V., Berdnikov E.B., Bityukov S.I. et al. *"Study of resonance production in diffractive reaction $\pi^- A \to \pi^+\pi^-\pi^- A$".*
Phys.Lett.B 356 (1995), 595. Preprint IHEP 95-78, Protvino 1995.

[16] Amelin D.V., Berdnikov E.B., Bityukov S.I. et al. *"Study of diffractive reaction $\pi^- A \to \eta\eta\pi^- A$ at the momentum $P_{\pi^-} = 37$ GeV/c".*
Ядерная Физика, 59 (1996), 1021. Preprint IHEP 95-112, Protvino 1995.

[17] Zaitsev A.M. *"Search for Exotic Mesons in Diffractive Reactions".*
Ядерная Физика, 59 (NAN-95) (1996), 1674.

[18] Ryabchikov D.I., Amelin D.V., Berdnikov E.B. et al. *"Study of exotic mesons on the VES setup".*
Proc. of the VI^{th} Intern. Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron-95), Manchester, 1995,

[19] Zaitsev A.M., Amelin D.V., Berdnikov E.B. et al. *"Search for exotics in $I^GJ^P = 1^-1^-$ and $I^GJ^P = 1^-0^-$ waves".*
Proc. of the VII^{th} Intern. Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron-97), Brookhaven, 1997,

[20] Амелин Д.В., Бердников Е.Б. et al. *"Исследование реакции $\pi^- + A \to \omega\pi^-\pi^0 + A^*$".*
Ядерная Физика, 1999, том 62, N 3

[21] V.Dorofeev et al. (*"Study of $\eta\pi^-$ production in coulomb field")*
ICHEP-97, Jerusalem, Proceedings

[22] Гуз Ю.П., Амелин Д.В., Бердников Е.Б. et al. "Исследование образования системы $\eta\pi^-$ пионами в кулоновском поле".
Ядерная Физика, 1999, том 62, N 3

[23] Ryabchikov D.I., Amelin D.V., Berdnikov E.B., et al. "Natural Parity Resonances in $\eta\pi^+\pi^-$".
(Hadron-97).Brookhaven. 1997

[24] Amelin D.V., Berdnikov E.B., et al. "Natural Parity Resonances in $\eta\pi^+\pi^-$".
Submitted to Europhysics Journal.

[25] Ryabchikov D.I., Amelin D.V., Berdnikov E.B., et al. "K-matrix analysis of $J^{PC} = 0^{-+}$ wave".
(Hadron-97).Brookhaven. 1997

[26] Г.В.Борисов и др. "Трековая система установки ВЕС"
Препринт ИФВЭ 98-60

[27] Битюков С.И. и др. Система сбора данных установки ВЕС Препринт ИФВЭ 94-101

[28] Копиков С.В. и др. "Скоростной канал МИСС-ISA в системе сбора данных установки ВЕС Препринт ИФВЭ

[29] K.S.Kolbig and B.Margolis "Particle production in nuclei and unstable particle cross sections"
Nucl. Phys. B6 (1968), 85

[30] W.Beush et al Phys. Lett. V 55B, N1 (1975), 97

[31] T.J.Roberts et al Phys. Rev. D, V 18, N 1 (1978), 59

[32] G.Bellini et al " The 3π-nucleon collision in coherent production on nuclei at 40 GeV/c"
Nucl. Phys. B 199 (1982), 1

[33] N.N.Nikolaev "Colour Transparency: Facts and Fancy"
DFTT-10/92, Un. Torino

[34] N.N.Nikolaev "Colour tranparency: a novel test of QCD in nuclear interactions"
nucl-th/9304015, 20 Apr 93

[35] N.N.Nikolaev and B.G.Zakharov "Colour transparency"
nucl-th/9509036, 22 Sep 95

[36] B.Blattel et al. Phys. Rev. Lett. V 70, N 7 (1993), 896

[37] L.Frankfurt et al Phys. Rev. Lett. V 71, N 18 (1993), 2859

[38] P. Ko, T.N. Truong, Phys. Rev. D42 (1990), 2419–2422.

[39] E.P. Venugopal and Barry R. Holstein, "Chiral anomaly and $\eta - \eta'$ mixing", hep-ph/9710382;

[40] H. Primakoff, Phys. Rev. 81 (1951) 899;
A. Halpern, C.M. Anderson and H. Primakoff, Phys. Rev 152 (1966)1295.

[41] S.Cihangir et al Phys. Lett., V 117B, N 1,2 (1982), 119

[42] M.Zielinski et al, Phys. Rev. Lett., V 52 (1984), 1195

[43] B.Collick et al., Phys. Rev Lett. V 51, (1983), 168

[44] V.Kubarovsky et al, Report at ICHEP98, Vancuver

[45] S.J.Brodsky et al. Phys. Lett. B93(1980)

[46] K.Kodama et al. Phys. Lett. B 316 (1993), 188

[47] S.J.Brodsky 1996