



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-2003-71

На правах рукописи
УДК 539.126

КАРНАУХОВ
Владимир Михайлович

**ОБНАРУЖЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УЗКИХ
АДРОННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ
N(3520) И K(1630)**

**Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук**

Дубна 2003

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий
Объединённого института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор	Ажгирей Леонид Степанович
доктор физико-математических наук, профессор	Дремин Игорь Михайлович
доктор физико-математических наук, доцент	Тихонова Лариса Александровна

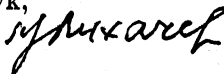
Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского го-
сударственного университета

Защита диссертации состоится "____" _____ 2003 года в "____"
часов на заседании диссертационного совета Д720.001.02 Объединён-
ного института ядерных исследований в Лаборатории высоких энер-
гий, 141980, г.Дубна Московской области, ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "____" _____ 2003 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор

 М.Ф.Лихачёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В диссертации исследуется образование странных частиц и резонансов в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с. Показано обнаружение и исследование неизвестных ранее аномально узких резонансов $N(3520) \rightarrow K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ и $K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ с похожими особенностями образования и распада. Обсуждается сходство особенностей этих состояний с особенностями узкого барионного резонансного состояния $\Sigma(3170)$, обнаруженного ранее в экспериментах CERN и ANL (USA). Сделано предположение о существовании группы возможных экзотических адронных состояний с похожими особенностями.

Вопросы, связанные с возможным существованием узких экзотических адронных резонансных состояний, например, аномально узких барионных N -резонансов, обсуждаются уже более трех десятилетий.

В настоящее время экспериментально надежно установлено существование ряда широких барионных N -резонансов с изотопическим спином $I = 1/2$ и нулевой странностью. Наиболее тяжелый $N(2600)$ имеет ширину ~ 650 МэВ/ c^2 . Известно несколько нестранных широких барионных резонансов, среди каналов распада которых есть каналы распада на странные частицы, зарегистрированные в основном при прецизионных исследованиях реакций $\pi N \rightarrow \Lambda K$, $\pi N \rightarrow \Sigma K$.

В теоретических работах, кроме широких трехкварковых N -резонансов, предсказывалась возможность существования узких пятикварковых резонансных барионных состояний со скрытой странностью. Обсуждалась и возможность существования узких четырехкварковых мезонных резонансов. Теоретические предсказания инициировали экспериментальный поиск процессов с образованием экзотических адронных резонансных состояний.

В нуклон-ядерных взаимодействиях изучались дифракционные процессы с возможным образованием экзотических барионных N -резонансов со скрытой странностью в предположении померонного обмена. Были получены указания на существование относительно узких (с шириной - десятки МэВ/ c^2) возможных барионных резонансов $N_\varphi(1960) \rightarrow \Sigma(1385)^- K^+$ (установка БИС в ОИЯИ), $X(2050) \rightarrow \Sigma(1385)^0 K^+$, $X(2000) \rightarrow \Sigma^0 K^+$ (установка СФИНКС в ИФВЭ). Природа этих структур выясняется.

В эксперименте WA62 (CERN) на гиперонном пучке с импульсом 135 ГэВ/с в инклюзивной реакции $\Sigma^- + Be \rightarrow K(3100) + X$, затем в

эксперименте EXCHARM (ОИЯИ) на нейтронном пучке с импульсом 40 ГэВ/с в инклюзивной реакции $n + N \rightarrow K(3100) + X$ (где N - ядра C, Al, Cu) были получены указания на существование узкого странного бариония $K(3100)$, распадающегося на системы частиц $\Lambda\bar{p} + m \cdot \pi^\pm$ и $\bar{\Lambda}p + m \cdot \pi^\pm$ (где $m \geq 1$). На базе того же экспериментального материала EXCHARM (ОИЯИ) во взаимодействиях нейтронов с ядрами было получено указание на существование узкого бариония $X(3250)$ со скрытой странностью. Для выяснения механизма процессов с возможным образованием узких экзотических бариониев требуется изучение реакций, близких к эксклюзивным.

Во многих физических центрах обсуждается или уже выполняется широкая программа исследований возможных процессов с образованием экзотических адронов, в том числе - процессов фоторождения и электророждения в экспериментах на ускорителе CEBAF и на других высокоэнергетических электронных ускорителях.

Одним из перспективных направлений поиска экзотических адронных состояний может оказаться исследование малоизученных адронных взаимодействий с большими четырёхмерными переданными импульсами при относительно невысоких энергиях первичных взаимодействующих частиц (в таких процессах обнаружены аномально узкие структуры $N(3520)$, $K(1630)$, $\Sigma(3170)$). Образование узких многокварковых и гибридных состояний в подобных процессах ($t > M_p^2$), обусловленных барионным обменом, обсуждалось в ряде теоретических работ. Это связывают с более эффективным возбуждением внутренних цветовых степеней свободы в указанных процессах, при котором могут формироваться экзотические кварковые или кварк-глюонные системы.

Выяснение механизма процессов с возможным образованием экзотических состояний, исследование свойств этих состояний важно для развития основных представлений о природе адронной материи.

В диссертации предложен новый подход к поиску резонансных состояний, позволяющий в ряде случаев отличать в рамках одного эксперимента физический эффект от статистической флуктуации в спектре эффективных масс. Этот подход основан на выявлении особенностей образования и распада резонансного состояния, отличающих события из области изучаемой структуры от событий из других интервалов спектра масс. Развиваемый подход может быть использован как дополнительный тест при выяснении природы резонансноподобных структур.

Развитие новых методов анализа для выяснения природы пиков в

спектрах эффективных масс исследуемых систем частиц актуально для многих экспериментальных работ.

Цель работы

заключалась в исследовании образования странных частиц и резонансов со странными кварками в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с, в поиске и исследовании возможных экзотических резонансных состояний и процессов с их образованием, в развитии нового подхода к поиску резонансных состояний, позволяющего на ограниченной статистике отличать физический эффект от статистической флуктуации в спектре эффективных масс.

Научная новизна работы

1. В π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с впервые обнаружено неизвестное ранее аномально узкое резонансное барионное состояние $N(3520) \rightarrow K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ с $M = 3521 \pm 3$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 6_{-6}^{+21}$ МэВ/ c^2 .

Найдены особенности образования и распада $N(3520)$, отличающие события из области пика от событий из других интервалов спектра эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$.

Состояние $N(3520)$ отличается от известных барионных резонансов с лёгкими кварками большой массой и аномально малой шириной, сопоставимой с экспериментальным разрешением, большой множественностью продуктов распада, включающих странные мезоны, и необычными особенностями образования и распада.

2. В π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с впервые обнаружено неизвестное ранее аномально узкое резонансное мезонное состояние $K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ с $M = 1629 \pm 7$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 16_{-16}^{+19}$ МэВ/ c^2 .

Найдены особенности образования и распада $K(1630)$, отличающие события из области пика от событий из других интервалов спектра эффективных масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$. Для мезонного состояния $K(1630)$ найдена особенность угловых распределений, указывающая на проявление спина $J \geq 1$.

Состояние $K(1630)$ отличается от известных странных мезонных резонансов аномально малой шириной, сопоставимой с экспериментальным разрешением, и необычными особенностями образования и распада.

3. Показано сходство особенностей образования и распада барионного состояния $N(3520)$ и мезонного состояния $K(1630)$.

Особенность образования этих состояний состоит в том, что они образуются в процессах с большими четырехмерными импульсами,

переданными от первичных частиц вторичным. Образование узких экзотических многокварковых состояний в таких реакциях, обусловленных барионным обменом, предсказывалось в ряде теоретических работ (Rosner J.L., Jacob M., Балицкий Я.Я. и др.).

Особенность распада этих состояний указывает на кластеризацию продуктов распада - их угловое разделение на две части при отсутствии каскадного распада. Кластеризация бесцветных продуктов распада состояний $N(3520)$ и $K(1630)$, возможно, является отражением динамики цветных кластеров, предсказываемой для узких экзотических многокварковых состояний (Hoegaasen H., Sorba P. et al.).

По результатам проведенных исследований сделан вывод, что состояния $N(3520)$ и $K(1630)$ согласно представлениям ряда теоретических работ могут быть кандидатами в экзотические многокварковые состояния ($udds\bar{s}$) и ($d\bar{s}q\bar{q}$), соответственно.

4. В π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с слабое проявление узкой структуры в области массы 1630 МэВ/ c^2 найдено также в спектрах эффективных масс систем $K^+\pi^+\pi^-\pi^-$, $K^-\pi^-\pi^+\pi^+$, $K_s^0\pi^+\pi^-\pi^-$, $K^+\pi^+\pi^-$ и экзотической системы $K^+\pi^-\pi^-$.

Проведенный анализ мировых экспериментальных результатов показал, что в адронных взаимодействиях, не ограниченных малыми переданными импульсами, также проявляется узкий пик в области 1630 МэВ/ c^2 в спектрах эффективных масс $K\pi\pi$ -систем.

5. Найдено сходство особенностей состояний $N(3520)$ и $K(1630)$ с особенностями аномально узкого барионного состояния $\Sigma(3170)$ (возможного ($uuss\bar{s}$)-состояния), обнаруженного ранее в экспериментах CERN и ANL (USA) в K^-p -взаимодействиях при 8,25 и 6,5 ГэВ/с. Сделано предположение о существовании новой группы адронных состояний с похожими особенностями, отличающимися их от известных резонансов с легкими кварками, и образующихся в адронных взаимодействиях с большими четырехмерными переданными импульсами.

В других экспериментах систематический поиск резонансов с легкими кварками проводился в основном в процессах с малыми переданными импульсами в системах с малой множественностью частиц. Возможные экзотические состояния $N(3520)$, $K(1630)$, $\Sigma(3170)$ обнаружены в процессах с большими переданными импульсами.

Сделан вывод о перспективности поиска других возможных экзотических состояний в малоизученных адронных взаимодействиях с большими переданными импульсами при относительно невысоких энергиях, что может составить предмет нового направления экспериментальных исследований. Показано, что детальное изучение таких про-

цессов возможно на установках с областью регистрации частиц, близкой к 4 π -геометрии. Регистрация вторичных частиц в малом переднем конусе в экспериментах на спектрометрах с ограниченным акцептансом может приводить к потере этих процессов.

6. Предложен и применен новый подход к поиску резонансных состояний, позволяющий в ряде случаев отличать в рамках одного эксперимента физический эффект от статистической флуктуации в спектре эффективных масс. Этот подход основан на выявлении особенностей образования и распада резонансного состояния и может быть использован для выяснения природы резонансноподобных структур.

Научная и практическая значимость работы

Результаты диссертации могут быть использованы при планировании новых экспериментов по поиску и исследованию экзотических адронных состояний. Экспериментальное решение вопроса о существовании экзотических адронов, в частности, узких резонансных состояний со скрытой и открытой странностью, выяснение их внутренней структуры, характера процессов с их образованием имеет принципиальное значение для основных представлений о природе адронной материи, для квантовой хромодинамики и концепции конфайнмента, для моделей строения адронов.

Обнаружение адронных состояний $N(3520)$ и $K(1630)$ с похожими особенностями, отличающими их от известных резонансов с лёгкими кварками, сходство этих особенностей с особенностями возможного экзотического состояния $\Sigma(3170)$, обнаруженного ранее в экспериментах CERN и ANL (USA), может иметь важное значение для развития исследований в области адронной спектроскопии.

Согласно полученным в диссертации результатам дальнейшие исследования малоизученных адронных взаимодействий с большими четырехмерными переданными импульсами при относительно невысоких энергиях, поиск в этих процессах экзотических адронных состояний могут составить предмет нового направления экспериментальных исследований.

Полученное экспериментальное указание на пространственную кластеризацию продуктов распада состояний $N(3520)$ и $K(1630)$ - угловое разделение бесцветных продуктов распада адронного состояния на две части, возможно, является отражением динамики цветных кластеров, предсказываемой для узких экзотических многокварковых состояний в ряде теоретических работ, и требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Развиваемый в диссертации новый подход к поиску резонансных состояний, предложенные способы выявления особенностей их образования и распада могут оказаться полезными в других экспериментальных исследованиях при выяснении природы пиков, наблюдаемых в спектрах эффективных масс.

Апробация

Результаты исследований, составивших диссертацию, докладывались на научных семинарах ЛВЭ, ЛТФ, ЛИТ (ЛВТА) ОИЯИ, ИТЭФ (Москва), Института Атомной Физики (Бухарест), на сессии Отделения ядерной физики АН СССР (1988), на конференции по адронной спектроскопии (College Park, USA, 1991), на международном семинаре по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 2000).

Полученные результаты по образованию странных частиц в π - p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с вошли в сборник "COMPILATION OF CROSS-SECTIONS I: π^+ AND π^- INDUCED REACTIONS" (издание CERN, 1983). Ссылки на результаты поиска мезонных и барионных резонансных состояний со странными кварками приведены в оригинальных работах и обзорах, в сборниках "A GUIDE TO EXPERIMENTAL PARTICLE PHYSICS LITERATURE" (издания Berkeley National Laboratory, 1996, 1999).

Циклу работ, связанных с обнаружением и исследованием состояний $N(3520)$ и $K(1630)$, присуждена вторая премия на конкурсе научно-методических работ ОИЯИ за 2001 год.

Данные по обнаружению барионного состояния $N(3520)$ отмечены в "REVIEW OF PARTICLE PHYSICS, 1996".

Обнаруженное мезонное состояние $K(1630)$ включено Particle Data Group в таблицу странных мезонов "REVIEW OF PARTICLE PHYSICS, 2000, 2002".

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 39 работ, из них 10 - в реферируемых журналах, 29 - в трудах конференций, сообщениями ОИЯИ и ИАФ (Бухарест), а также депонированными публикациями ОИЯИ с изложением методических результатов.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объём составляет 214 страниц, включая 65 рисунков, 14 таблиц и список цитируемой литературы из 169 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, формулируется основная цель работы, приводится краткое содержание диссертации.

В первой главе показаны основные этапы методики обработки экспериментального материала со стереофотоснимков двухметровой водородной пузырьковой камеры *CERN*, экспонированной в пучке π^- -мезонов с импульсом 16 ГэВ/с.

Приведено описание критериев отбора событий со странными частицами, измерений и геометрической реконструкции отобранных событий. Отбор и измерения событий, их обработка на ЭВМ по системе программ (разработанных в ОИЯИ) были выполнены в Объединённом Институте Ядерных Исследований и в Институте Атомной Физики (Бухарест). Настройка программы геометрической реконструкции осуществлялась константами, полученными в *CERN*. Проведённый контроль результатов измерений и геометрической реконструкции показал их соответствие конструктивным особенностям камеры и условиям эксперимента.

Показана методика идентификации нейтральных странных частиц. Ширины экспериментальных распределений эффективных масс продуктов распада K_s^0 , Λ -частиц близки к ширинам подобных распределений, полученных в других экспериментах на водородных пузырьковых камерах. Средние экспериментальные значения массы и времени жизни K_s^0 и Λ в пределах ошибок согласуются с табличными.

На материале моделированных и экспериментальных четырёхлучевых событий с двумя странными частицами в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с была отлажена методика идентификации каналов реакций. Для дополнительной проверки надёжности экспериментального материала и методики его обработки был проведен анализ спектров эффективных масс систем $\pi^+\pi^-\pi^0$, $K^+\pi^-$, $\Lambda\pi^\pm$ в событиях, идентифицированных каналом реакции $\pi^-p \rightarrow \Lambda K^+\pi^+\pi^-\pi^0$. В экспериментальных распределениях наблюдаются структуры известных резонансов $A_1(1100)$, $K^*(892)$, $\Sigma(1385)$ с параметрами, близкими к табличным.

Приведенные в первой главе результаты свидетельствуют о надёжности экспериментального материала и методики его обработки.

Во второй главе приведены результаты исследования процессов с образованием странных частиц K_s^0 , Λ , $\bar{\Lambda}$, Ξ^- , $\bar{\Xi}^+$, Ξ^0 и известных резонансов $K^*(892)^0$, $\Sigma(1385)^\pm$ в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с.

Показано вычисление сечений процессов с образованием нейтральных странных частиц. Для вычисления поправок (весов событий) при оценке сечений использовалась процедура, стандартная для камерной методики. Полученные средние значения весов зарегистрированных K_s^0 , Λ -частиц равны 1,13, $\bar{\Lambda}$ -частиц - 1,16, что соответствует средним значениям весов, полученным в других экспериментах на двухметровой водородной пузырьковой камере *CERN* и других водородных камерах близких размеров при близких энергиях первичных частиц. Полученные значения сечений отдельных каналов реакций с образованием нейтральных странных частиц в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с близки к значениям, полученным в других экспериментах при близких энергиях первичных π^- -мезонов.

На примере известных резонансов $\Sigma(1385)^+$, $\Sigma(1385)^-$, $K^*(892)^0$, наблюдающихся в эксперименте, рассмотрены три способа построения фоновых распределений в спектрах эффективных масс для выделения резонансных состояний частиц и оценки их сечений. Показано, что способ построения фоновых распределений перемешиванием параметров частиц из разных экспериментальных событий приводит к искажению физических результатов. Во втором способе использовалось моделирование каналов реакций с учётом экспериментальных угловых и импульсных распределений и суммированием парциальных фоновых распределений с весами, рассчитанными по статистической теории множественного рождения частиц. Третий способ использовал описание нерезонансного фона полиномом. Фоновые распределения, полученные последними двумя способами, мало отличаются друг от друга. Выбран наиболее распространённый и менее трудоёмкий полиномиальный способ описания нерезонансного фона, использовавшийся в дальнейшем при поиске новых резонансов.

Полученные параметры известных резонансов, наблюдающихся в эксперименте, в пределах ошибок согласуются с табличными. Угловые распределения барионных состояний Λ , $\Sigma(1385)^+$, $\Sigma(1385)^-$ указывают на то, что эти состояния, как и в других мезон-нуклонных экспериментах, большей частью направлены в полусферу мишени в с.ц.м. π^-p -взаимодействий.

В следующих разделах второй главы представлены результаты поиска и исследования редких в пион-нуклонных взаимодействиях процессов с образованием и наблюдаемыми распадами Ξ -гиперонов в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с. Приведена процедура вычисления сечений, показаны характеристики изучаемых процессов.

На экспериментальном материале ~ 125000 стереофотоснимков в

π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с зарегистрировано 46 событий с различными множественностями заряженных частиц, в которых наблюдались распады $\Xi^- \rightarrow \Lambda\pi^-$. Средние экспериментальные значения массы и времени жизни Ξ^- в пределах ошибок совпадают с табличными. Полное сечение образования Ξ^- равно $17,5 \pm 2,7$ мкбн. Параметр угловой асимметрии $A = (B - F)/(B + F)$ для Ξ^- -гиперонов в с.д.м. π^-p -взаимодействий равен $0,56 \pm 0,12$; в большей части событий Ξ^- -гиперон направлен в полусферу мишени и образуется, по-видимому, большей частью в процессах с мезонным обменом.

Сделан краткий обзор экспериментальных данных по образованию Ξ^- -гиперонов в π^-p -взаимодействиях при различных энергиях. Полученные для Ξ^- -частиц в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с значения сечения и параметра угловой асимметрии хорошо вписываются в общий ход изменения значений этих величин с изменением энергии π^-p -взаимодействий. Получено указание на то, что сечение генерации Ξ^- в интервале импульсов первичных π^- -мезонов 3-25 ГэВ/с возрастает с ростом энергии первичных π^- -мезонов. В большей части событий в изучавшихся π^-p -взаимодействиях Ξ^- направлен в полусферу мишени в с.д.м. π^-p -взаимодействий; прослеживается тенденция к снижению значений параметра угловой асимметрии с ростом энергии первичных π^- -мезонов. Поведение параметра угловой асимметрии для Ξ^- указывает на возрастание роли процессов с возможным барионным обменом при увеличении энергии налетающих π^- -мезонов в интервале импульсов первичных π^- -мезонов 5,5-25,0 ГэВ/с.

В π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с исследовалась зависимость дифференциального сечения Ξ^- -частиц от X и P_T^2 :

$$F_1(X) = \frac{2}{\pi\sqrt{S}} \cdot \int \frac{E^* d^2\sigma}{dXdP_T^2} dP_T^2, \quad (1)$$

$$F_2(P_T^2) = \frac{2}{\pi\sqrt{S}} \cdot \int \frac{E^* d^2\sigma}{dXdP_T^2} dX. \quad (2)$$

Здесь $X = 2P_L^*/\sqrt{S}$ - переменная Фейнмана, P_T^2 - квадрат поперечного импульса Ξ^- , P_L^* и E^* - продольный импульс и энергия Ξ^- в с.д.м. π^-p -взаимодействий, \sqrt{S} - полная энергия π^-p -взаимодействий.

Распределение $F_1(X)$ показывает, что Ξ^- -гипероны образуются преимущественно в полусфере мишени.

Распределение $F_2(P_T^2)$ указывает на обычное экспоненциальное поведение при малых P_T^2 . Параметры аппроксимации этого распределения экспонентой $A \exp(-BP_T^2)$ равны:

$$A = 12,06_{-3,52}^{+4,16} \text{ мкбн}/(\text{ГэВ}/c)^2, \quad B = 3,89_{-1,20}^{+1,50} (\text{ГэВ}/c)^{-2}.$$

Отмечено, что в этом эксперименте параметр наклона B при описании зависимости дифференциального сечения Ξ^- от P_T^2 экспонентой $A \exp(-BP_T^2)$ в пределах ошибок совпадает с параметром наклона при описании подобной зависимости для Λ -частиц.

Показано, что топологическое сечение образования Ξ^- в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с имеет максимум в событиях с множественностью вторичных заряженных частиц, равной четырём.

Около 40% событий с наблюдаемым распадом Ξ^- были идентифицированы эксклюзивными каналами реакций. Изучались кинематические характеристики вторичных частиц в этих реакциях, сделана оценка сечений каналов реакций. Из анализа угловых распределений вторичных частиц идентифицированных событий с Ξ^- можно сделать вывод, что в большинстве реакций Ξ^- -гиперон вместе с K^+ -мезоном в с.д.м. π^-p -взаимодействий направлены в полусферу мишени. В спектре эффективных масс Ξ^-K^+ большинство комбинаций группируется в области масс широких резонансов $\Lambda(2100)$, $\Sigma(2030)$ (не найдено какой-либо резонансной структуры в спектре масс $\Xi^-\pi^+$). Детальное исследование спектра масс Ξ^-K^+ и спектров эффективных масс систем $\Xi^-KK \cdot \pi$ ($m \geq 0$) с суммарной странностью нуль требует значительно большей статистики экспериментальных данных.

В эксперименте зарегистрированы редкие в пион-нуклонных взаимодействиях процессы с образованием и наблюдаемым распадом $\Xi^+ \rightarrow \bar{\Lambda}\pi^+$. Полное сечение образования Ξ^+ -гиперонов в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с равно $1,2 \pm 0,7$ мкбн. В двух из трёх найденных событий Ξ^+ -гиперон направлен в полусферу мишени в с.д.м. π^-p -взаимодействий.

В диссертации отмечено, что из-за большой радиационной длины в водороде и, следовательно - малой эффективности регистрации конверсий γ -квантов в водородной камере, в работе не ставилась целевая задача исследования образования Ξ^0 -гиперонов в π^-p -взаимодействиях (Ξ^0 -гиперон с вероятностью 99,54% распадается по каналу $\Lambda\pi^0$, π^0 -мезон с вероятностью 98,80% распадается на два γ -кванта).

При поиске каскадных распадов заряженных гиперонов с двойной странностью было найдено восьмилучевое событие с V^0 -распадом, электрон-позитронной парой (ассоциируемой с V^0) и изломом на одном из треков вторичных отрицательных частиц первичного π^-p -взаимодействия.

Приведены результаты анализа нескольких измерений этого собы-

тия. Сделано заключение, что в реакции

$$\pi^- p \rightarrow \bar{\Sigma}^+ \pi^- \pi^- \pi^- K^+ \pi^+ \pi^+ p \Xi^0 \quad (3)$$

зарегистрирован распад $\Xi^0 \rightarrow \Lambda \pi^0$ с редким Далитцевским распадом $\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$. Оценка нижней границы сечения образования Ξ^0 -гиперона в $\pi^- p$ -взаимодействиях при 16 ГэВ/с равна 44_{-37}^{+101} мкбн; Ξ^0 почти сохраняет направление первичного протона в с.ц.м. $\pi^- p$ -взаимодействий.

Представленные во второй главе физические результаты согласуются с мировыми данными и подтверждают надежность экспериментального материала и его обработки.

В третьей главе показано обнаружение и исследование узкого барионного резонансного состояния $N(3520)$.

В первом разделе приведен сделанный автором обзор теоретических и экспериментальных указаний на возможное образование узких экзотических барионных состояний со странными кварками в различных процессах. Отмечено отсутствие данных о систематических экспериментальных исследованиях возможного образования резонансов в процессах с большими четырёхмерными переданными импульсами при относительно невысоких энергиях. Исключением являются работы, выполненные в CERN и ANL (USA) в $K^- p$ -взаимодействиях при 8,25 и 6,5 ГэВ/с с полученным в них указанием на существование узкого резонансного барионного состояния $\Sigma(3170)$.

В следующих разделах третьей главы представлены результаты поиска барионных резонансных состояний со странными кварками в $\pi^- p$ -взаимодействиях при 16 ГэВ/с в четырёхлучевых событиях с зарегистрированными K_s^0 или Λ -частицами. При анализе спектров эффективных масс использовалось описание фона гладкой функцией, резонансов - функцией Брейта-Вигнера, проинтегрированной вместе с функцией разрешения. Параметризация проводилась с помощью метода наименьших квадратов.

В событиях с одним зарегистрированным K_s^0 в спектре эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ на интервале 3450-3550 МэВ/с² была обнаружена узкая резонансная структура $N(3520)$ с количеством стандартных отклонений в пике над фоном более 5,5 (рис. 1).

Комбинаторный фон (отношение числа комбинаций к числу событий) в спектре масс незначителен; в интервале наблюдаемой структуры 3450-3550 МэВ/с² он составляет 1,12. Средний вес комбинаций в этой области равен 1,10; среднее разрешение по эффективным массам - 17 МэВ/с². Структура $N(3520)$ проявляется при различ-

ных изменениях ширины интервала (≤ 50 МэВ/ c^2) и дробных сдвигах спектра.

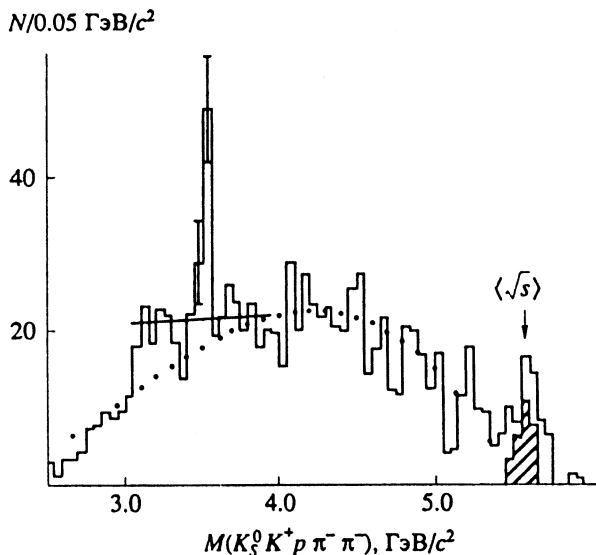


Рис. 1. Распределение взвешенных комбинаций по эффективным массам $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы. Заштрихованы события, идентифицированные как реакция $\pi^- p \rightarrow \bar{K}^0 K^+ p \pi^- \pi^-$. Точками показаны результаты аппроксимации распределения гладкой функцией с тремя параметрами на интервале 2,50-5,45 ГэВ/ c^2 . Сплошная линия - аппроксимация распределения прямой линией на интервале 3,05-3,95 ГэВ/ c^2 .

В диссертации подробно показан статистический и кинематический анализ событий в спектре эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$. Установлено, что структура образуется в области $\pi^- p$ -взаимодействий, близкой к центральной: $-0,18 \leq Y^*(q) < 0,38$, где $Y^*(q)$ - продольная быстрота структуры в с.ц.м. $\pi^- p$ -взаимодействий. Бесспорных доказательств существования каскадного распада $N(3520)$ не найдено. Получено указание на то, что аномально узкое барионное состояние $N(3520)$ образуется в квазидвухчастичной реакции в сопровождении мезонного состояния с массой $\sim 1,9$ ГэВ/ c^2 :

$$\pi^- p \rightarrow N(3520) + Meson(M \approx 1,9 \text{ ГэВ}/c^2). \quad (4)$$

Отсутствие статистически значимого узкого сигнала $N(3520)$ в спектрах масс $K_s^0 K^- p \pi^+ \pi^-$, $\Lambda K^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ в предположении барионного состояния со скрытой странностью, возможно, отчасти объясняется большим комбинаторным фоном в этих спектрах.

В отдельном разделе третьей главы автором сделано обоснование нового подхода к поиску резонансных состояний, позволяющего в ряде случаев отличать физический эффект от статистической флуктуации в спектре эффективных масс. Смысл этого подхода заключается в том, что, если наблюдаемый в виде пика в спектре инвариантных масс эффект - квазистабильная частица или резонанс, некоторые его свойства связаны с механизмом образования и распада. Эти свойства могут проявиться в особенностях кинематических распределений для событий из интервала пика, отличающих их от событий из других интервалов спектра масс. По аналогии с парциально-волновым анализом (затруднительным при ограниченной статистике или распадах с большой множественностью) проявление особенностей, кинематически не скоррелированных с общим количеством событий в интервале пика, может стать дополнительным тестом для отличия физического эффекта от статистической флуктуации, выясняющим детали образования и распада изучаемой структуры. Предложены способы выявления особенностей образования и распада резонансных состояний.

В соответствии с развиваемым подходом для выяснения природы обнаруженной структуры был проведен поиск особенностей образования и распада предполагаемого барионного состояния $N(3520)$. В диссертации показан детальный анализ с использованием способов, предложенных автором. На уровне вероятности случайной статистической флуктуации 10^{-8} в событиях из области резонансного пика обнаружены особенности кинематических распределений, отличающие группу событий из области пика от событий из других интервалов спектра эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$.

Обнаруженные особенности (рис. 2) кинематически не скоррелированы с общим количеством событий в интервале пика. Поэтому существование пика и особенностей кинематических распределений в одном и том же интервале спектра масс указывает на то, что проявляются физические свойства группы событий из области изучаемой резонансной структуры. Наблюдаемые особенности, по-видимому, отражают свойства барионного состояния $N(3520)$, связанные с механизмом его образования и внутренней структурой.

В большей части событий из области резонансного пика, в отличие от других интервалов спектра масс, система $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ направлена в полусферу первичного π^- -мезона в с.ц.м. $\pi^- p$ -взаимодействий. В с.ц.м. $K^+ K_s^0$ угол между системой $p \pi^- \pi^-$ (а также системой $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$) и K^+ -мезоном меньше угла между этой системой и K_s^0 -мезоном.

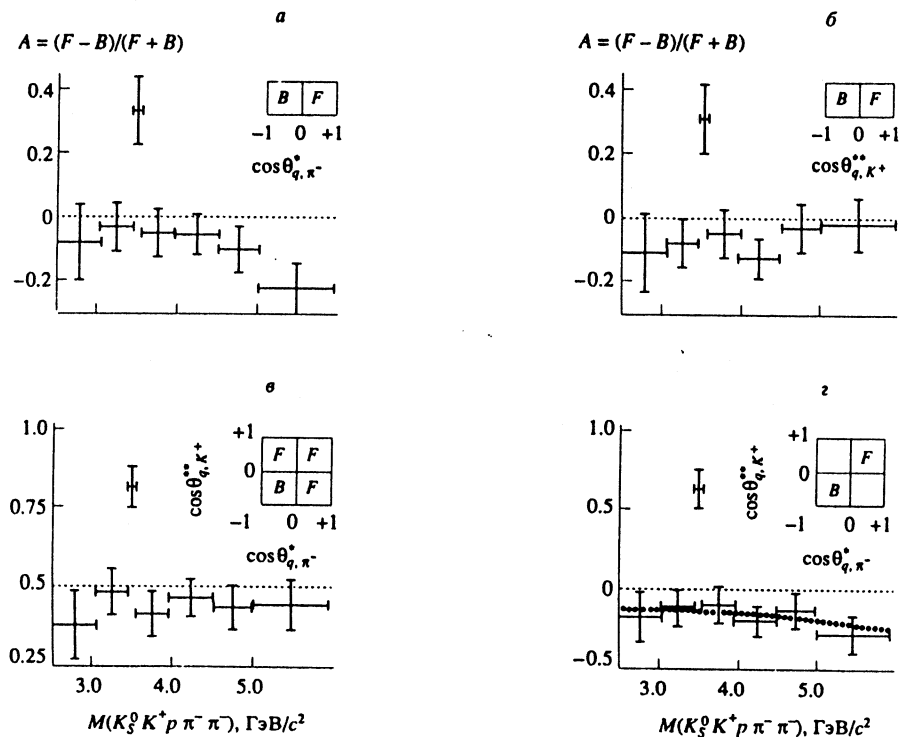


Рис. 2. Распределения параметра асимметрии $A = (F - B)/(F + B)$ по интервалам спектра масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы. Для каждого распределения показан способ разделения комбинаций по группам F и B в зависимости от направления системы $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ (обозначенной как q) в с.д.м. $\pi^- p$ -взаимодействий и в с.д.м. $K^+ K_s^0$. Здесь Θ_{q, π^-}^* - угол между системой q и первичным π^- -мезоном в с.д.м. $\pi^- p$ -взаимодействий, Θ_{q, K^+}^{**} - угол между системой q и K^+ -мезоном в с.д.м. $K^+ K_s^0$. В распределении (2а): F - количество взвешенных комбинаций с изучаемой системой частиц, направленной в полусферу первичного π^- -мезона в с.д.м. $\pi^- p$ -взаимодействий, B - в полусферу мишени. В распределении (2б): F - количество взвешенных комбинаций с изучаемой системой частиц, направленной в полусферу K^+ -мезона в с.д.м. $K^+ K_s^0$, B - в полусферу K_s^0 . Точечная кривая на рис. 2г - аппроксимация распределения (учитывающего одновременно условия F и B в распределениях 2а и 2б) без интервала 3,45-3,55 GeV/c^2 гладкой функцией с тремя свободными параметрами.

Это означает, что, во-первых, состояние $N(3520)$ образуется в квадвухчастичной реакции (4) с большими четырёхмерными переданными импульсами от первичных частиц вторичным. Среднее значение квадрата четырёхмерного импульса, переданного состоянию $N(3520)$ от протона-мишени, равно: $\langle t(p_I \rightarrow K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-) \rangle = 9,3 \pm 0,5$ (ГэВ/с)². Во-вторых, получено экспериментальное указание на пространственную кластеризацию продуктов распада состояния $N(3520)$, их угловое разделение на две части: $K^+ p \pi^- \pi^-$ и K_s^0 .

Найденные особенности были использованы для введения ограничений на отбор событий в спектр эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы (обозначенной как q) и выделения процессов с образованием состояния $N(3520)$:

$$\begin{aligned}
 -0,18 \leq Y^*(q) < 0,38 & \quad - \text{с.п.м. } \pi^- p, \\
 \text{Cos} \Theta_{q, K^+}^{**} \geq -0,66 & \quad - \text{с.п.м. } K^+ K_s^0, \\
 MM^2 \geq 0,3 \text{ (ГэВ/с}^2\text{)}^2. &
 \end{aligned} \tag{5}$$

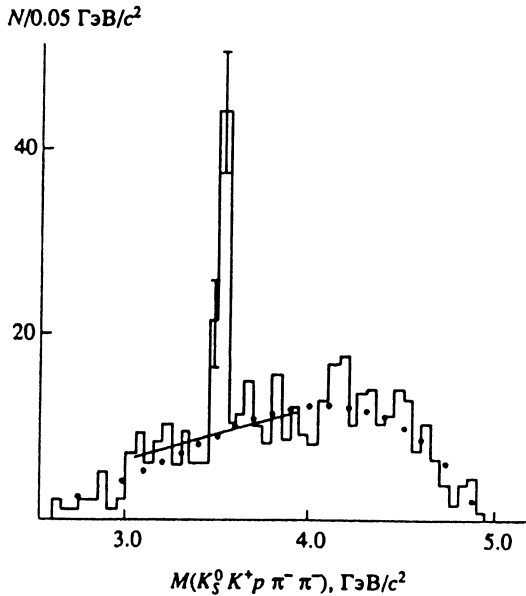


Рис. 3. Распределение взвешенных комбинаций по эффективным массам $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ с ограничениями (5). Точками показана аппроксимация всего распределения без пика гладкой функцией с тремя параметрами. Сплошная линия - аппроксимация прямой линией участка спектра 3,05-3,95 ГэВ/с² без пика.

В спектре масс с ограничениями (5) количество стандартных отклонений в пике над фоном (рис. 3) больше 10; отношение сигнал/фон равно 2,5. Полученные значения параметров изучаемого резонансного состояния равны:

$$M = 3521 \pm 3 \text{ МэВ}/c^2, \quad \Gamma = 6_{-8}^{+21} \text{ МэВ}/c^2, \quad \sigma = 15 \pm 3 \text{ мкбн.}$$

В диссертации показан анализ спектра масс на рис. 3. Влияния кинематических отражений известных физических эффектов на статистическую значимость пика не найдено. Отдельно проверялись события из области пика. Для этих событий (с учётом оценки ионизации на треках заряженных частиц в каждом событии) были построены спектры масс для всех возможных конкурентных гипотез о пятичастичном конечном состоянии. Все спектры масс для конкурентных гипотез широкие. Анализ результатов аппроксимации этих спектров функцией Брейта-Вигнера показал, что известных широких мезонных или барионных резонансов с полученными параметрами нет.

Сделан вывод о том, что в рамках одного эксперимента получены убедительные указания на существование нового барионного состояния $N(3520) \rightarrow K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$.

В четвертой главе показано обнаружение и исследование узкого мезонного резонансного состояния $K(1630)$.

В первом разделе приведен обзор известных странных мезонных резонансов; рассмотрены полученные ранее экспериментальные указания на возможное существование экзотических мезонных резонансов со странными кварками. Отмечено отсутствие данных о систематических экспериментальных исследованиях возможного образования резонансов в процессах с большими четырехмерными переданными импульсами.

В следующих разделах четвертой главы представлены результаты поиска мезонных резонансных состояний со странными кварками в $\pi^- p$ -взаимодействиях при 16 ГэВ/с в четырехлучевых событиях с зарегистрированными K_s^0 или Λ -частицами. В событиях с одним зарегистрированным K_s^0 -мезоном в спектре эффективных масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$ на интервале 1600-1680 МэВ/с² была обнаружена узкая резонансная структура $K(1630)$ с количеством стандартных отклонений в пике над фоном больше 4,5. Комбинаторный фон (отношение количества комбинаций к числу событий) в интервале наблюдаемой структуры равен 1,12. Средний вес комбинаций в области структуры равен 1,10, среднее экспериментальное разрешение по эффективным массам - 14 МэВ/с². Структура $K(1630)$ проявляется при различных изменениях

ширины интервала ($\leq 50 \text{ МэВ}/c^2$) и дробных сдвигах спектра. Не найдено влияния кинематических отражений каких-либо других резонансов на проявление структуры.

На этом же экспериментальном материале в четырёхлучевых событиях с зарегистрированными K_s^0 или Λ -частицами был проведен поиск $K(1630)$ -структуры в других $K \pi \cdot \pi$ -системах. С меньшей степенью достоверности узкая мезонная структура в области массы $1,63 \text{ ГэВ}/c^2$ проявляется в спектрах эффективных масс $K^+\pi^+\pi^-\pi^-$, $K^-\pi^-\pi^+\pi^+$, $K_s^0\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$, $K^+\pi^+\pi^-$, $K^+\pi^-\pi^-$ (экзотическая система) по разные стороны от широкого максимума фазового объёма. Качественно отмечено, что с уменьшением экспериментальных разрешений эффективных масс систем в области структуры экспериментальная ширина структуры уменьшается.

В диссертации представлен подробный анализ реакций с образованием статистически значимой структуры $K(1630) \rightarrow K_s^0\pi^+\pi^-$. Процессы с образованием системы $K_s^0\pi^+\pi^-$ в четырёхлучевых событиях π^-p -взаимодействий с зарегистрированным K_s^0 -мезоном можно записать как

$$\pi^-_I p_I \rightarrow (K_s^0 \pi_1^+ \pi_1^-) h_2^+ h_2^- X^0, \quad (6)$$

где π^-_I , p_I - первичные взаимодействующие частицы, π_1^+ , π_1^- - вторичные заряженные частицы, входящие в любую рассматриваемую комбинацию $K_s^0\pi^+\pi^-$, в предположении π^+ , π^- -мезонов; h_2^+ , h_2^- - вторичные заряженные частицы, сопровождающие образование этой системы (рассматриваемой комбинации); X^0 - вторичные нейтральные частицы, не зарегистрированные в камере. Получено указание, что структура образуется в сопровождении π^- -мезона:

$$\pi^-_I p_I \rightarrow K(1630) h_2^+ \pi_2^- X^0, \quad K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi_1^+ \pi_1^-. \quad (7)$$

Оценка параметров наблюдаемой структуры (рис. 4) даёт:

$$M = 1629 \pm 7 \text{ МэВ}/c^2, \quad \Gamma = 16^{+19}_{-16} \text{ МэВ}/c^2, \quad \sigma = 20 \pm 5 \text{ мкбн.}$$

В соответствии с развиваемым подходом для выяснения природы обнаруженной структуры был проведен поиск особенностей образования и распада предполагаемого мезонного состояния $K(1630)$. В диссертации показан детальный анализ с использованием способов, предложенных автором. На уровне вероятности случайной статистической флуктуации 10^{-7} в событиях из области резонансного пика обнаружены особенности кинематических распределений, отличающие группу событий из области пика от событий из других интервалов спектра эффективных масс $K_s^0\pi^+\pi^-$. Обнаруженные особенности (рис. 5) кинематически не скоррелированы с общим количеством

событий в интервале пика и, по-видимому, отражают свойства мезонного состояния $K(1630)$, связанные с механизмом его образования и внутренней структурой.

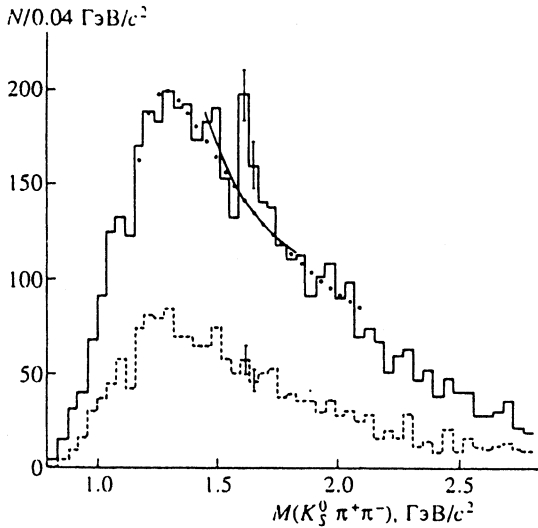


Рис. 4. Спектр эффективных масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$ -системы в предположении того, что в процессах (6) сопровождающая образование комбинации $K_s^0 \pi_1^+ \pi_1^-$ отрицательная частица h_2^- является π^- -мезоном. Сплошной линией показана аппроксимация гладкой функцией с тремя параметрами участка спектра 1440-1840 МэВ/ c^2 без интервала 1600-1680 МэВ/ c^2 . Точками показана аппроксимация участка спектра 1160-2120 МэВ/ c^2 без интервала 1600-1680 МэВ/ c^2 . Штриховой гистограммой показан спектр масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$ при $t'(\pi_1^- \rightarrow \pi_2^-) < 0,8$ (ГэВ/ c) 2 .

Во-первых, сопровождающий образование $K(1630)$ π_2^- -мезон (частица, тождественная налетающей) в основном направлен в полусферу протона-мишени в с.ц.м. $\pi^- p$ -взаимодействий и имеет большие четырехмерные импульсы, переданные от первичного π^- -мезона. Процессы с образованием структуры $K(1630)$ отличаются большой неупругостью, большими переданными импульсами от первичных частиц вторичным.

Во-вторых, в большей части комбинаций из интервала масс структуры по сравнению с другими интервалами спектра угол между поперечными импульсами системы $K_s^0 \pi_1^+$ и π_1^- -мезона (относительно направления первичного π^- -мезона) больше, чем угол между попереч-

ными импульсами системы $K_s^0 \pi_1^-$ и π_1^+ -мезона. То есть, в большей части событий из области структуры величина

$$\delta\Theta_T = \Theta_T(K_s^0 \pi_1^-, \pi_1^+) - \Theta_T(K_s^0 \pi_1^+, \pi_1^-) \quad (8)$$

меньше нуля. Это означает, что при отсутствии каскадного распада $K(1630)$ получено экспериментальное указание на пространственную кластеризацию продуктов его распада, их угловое разделение на две части: $K_s^0 \pi^+$ и π^- .

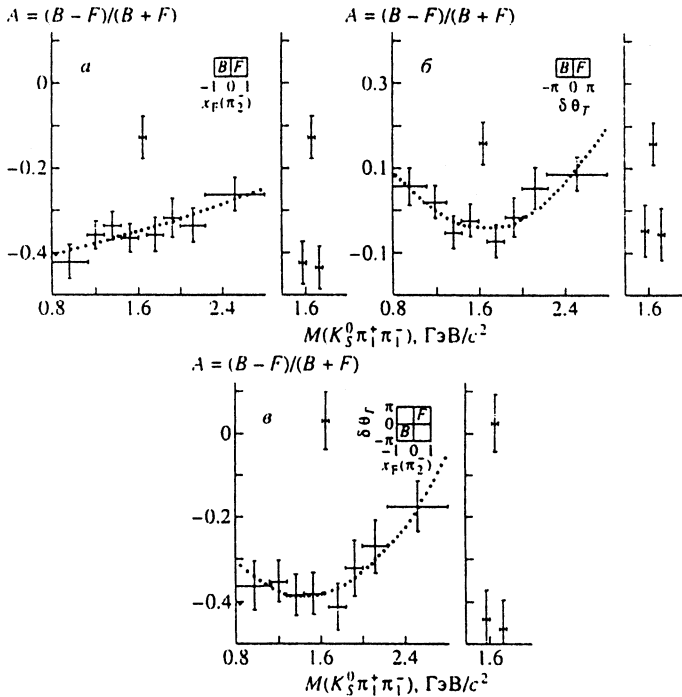


Рис. 5. Распределения параметра асимметрии $A = (B - F)/(B + F)$ по интервалам спектра масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$ -системы. Для каждого распределения показан способ разделения комбинаций по группам F и B в зависимости от направления π^- -мезона, сопровождающего образование системы, в с.ц.м. π^-p -взаимодействий (X_F - переменная Фейнмана) и от значения величины $\delta\Theta_T$, характеризующей углы между поперечными импульсами частиц, входящих в систему. Пунктир - аппроксимация распределений без интервала 1600-1680 $\text{МэВ}/c^2$ гладкой функцией с тремя параметрами. Показаны фрагменты распределений для области структуры и соседних симметричных боковых интервалов того же размера.

Обнаруженная особенность образования $K(1630)$ даёт возможность ввести ограничения на отбор комбинаций в спектр эффективных масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$. Для выделения процессов с образованием $K(1630)$ можно использовать значения импульса π_2^- -мезона или угла отклонения его направления от направления пучка в лабораторной системе:

$$p(\pi_2^-) < 1800 \text{ МэВ}/c, \quad \Theta(\pi_1^-, \pi_2^-) \geq 0,24 \text{ рад.} \quad (9)$$

Такая фильтрация событий, возможно, окажется удобной и при постановке целевого электронного эксперимента.

Использование ограничений (9) снижает фон в области структуры на 68% (рис. 6а). Количество стандартных отклонений в пике над фоном близко к 8. Распределение, полученное при использовании ограничений, противоположных ограничениям (9), показано на рис. 6б.

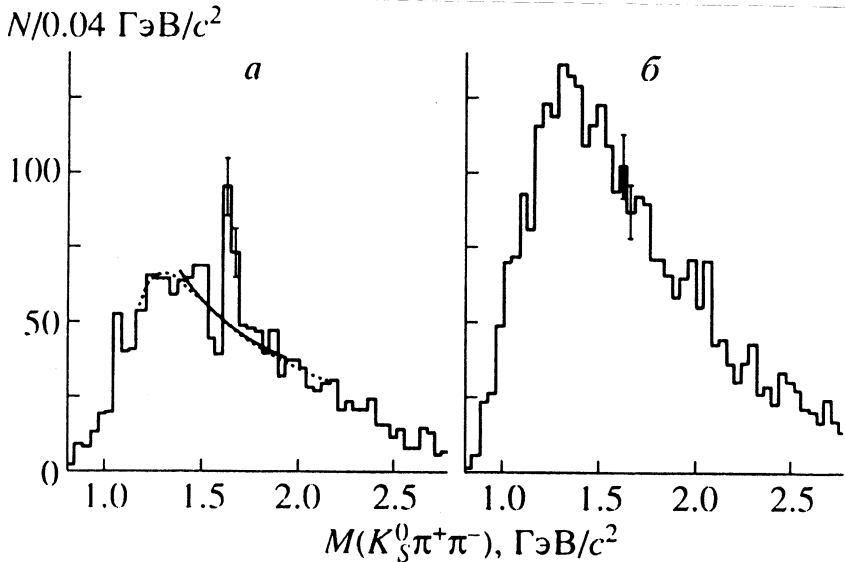


Рис. 6. Распределения взвешенных комбинаций по эффективным массам $K_s^0 \pi^+ \pi^-$ -системы: а) распределение с ограничениями (9), б) с ограничениями, противоположными ограничениям (9). Сплошной линией на рис. а) показана аппроксимация гладкой функцией с тремя параметрами участка спектра 1,36-1,92 $\text{ГэВ}/c^2$ без интервала 1,60-1,68 $\text{ГэВ}/c^2$, точками показана аппроксимация участка спектра 1,12-2,16 $\text{ГэВ}/c^2$ без интервала 1,60-1,68 $\text{ГэВ}/c^2$.

Выделение процессов с образованием $K(1630)$, разделение спектра

масс (показанного на рис. 4) на две части позволило продолжить исследование особенностей событий из области структуры (рис. 6а) в сравнении с кинематикой фоновых событий (рис. 6б).

События из области структуры, наблюдаемой в спектре на рис. 6а, отличаются от фоновых в спектре на рис. 6б большой неупругостью, большими четырехмерными импульсами, переданными от первичных частиц вторичным.

Для событий из области структуры в спектре на рис. 6а наблюдается пространственная кластеризация продуктов распада $K(1630)$ - их угловое разделение на две части: $K_s^0\pi^+$ и π^- .

В предположении резонансного состояния $K(1630) \rightarrow K_s^0\pi^+\pi^-$ анализировались распределения событий по косинусу угла между нормалью к плоскости распада возможного резонанса в системе покоя резонанса и его собственным направлением движения в с.ц.м. π^-p -взаимодействий. Для событий из области структуры в спектре масс на рис. 6а (в отличие от фоновых событий) наблюдается особенность угловых распределений, указывающая на проявление спина $J \geq 1$.

В последнем разделе четвертой главы приведен детальный анализ опубликованных результатов других экспериментов по исследованию резонансов в $K\pi\pi$ -системах.

Анализ показал, что в других экспериментах резонансные состояния $K\pi\pi$ -систем изучались в основном в квазидвухчастичных реакциях. В среднем изучавшиеся процессы характеризуются малыми переданными импульсами при относительно небольшой части событий с высокими передачами от первичных частиц. Если $K(1630)$ действительно существует и образуется в событиях с большими переданными импульсами, его проявление должно быть слабым на фоне фрагментационных процессов. Такое проявление эффекта трудно заметить в отдельном эксперименте с ограниченной статистикой.

Для сглаживания статистических флуктуаций за счёт увеличения статистики были составлены компилятивные спектры эффективных масс $K\pi\pi$ -систем в отдельных каналах реакций по результатам камерных экспериментов. В суммарные спектры включались все спектры масс $K\pi\pi$ -систем, полученные при изучении этих каналов реакций, из экспериментов, указанных в "REVIEW OF PARTICLE PROPERTIES, 1982", выполненных методикой водородных пузырьковых камер (установок с 4π -геометрией) при различных энергиях взаимодействующих частиц. Средние веса событий в этих камерных работах примерно одинаковы и близки к единице. Это даёт возможность складывать отдельные гистограммы и делать приблизительную статистику

ческую оценку наблюдаемых неоднородностей в интервалах суммарного спектра.

На рис. 7 показаны суммарные спектры эффективных масс $K\pi\pi$ -систем, изучавшихся ранее в камерных экспериментах. Тестом корректности проведенных компиляций может быть репер известного $K_2^*(1430)$ -резонанса, образующегося в процессах с малыми переданными импульсами. В области массы $K(1630)$ -состояния наблюдается узкий выброс.

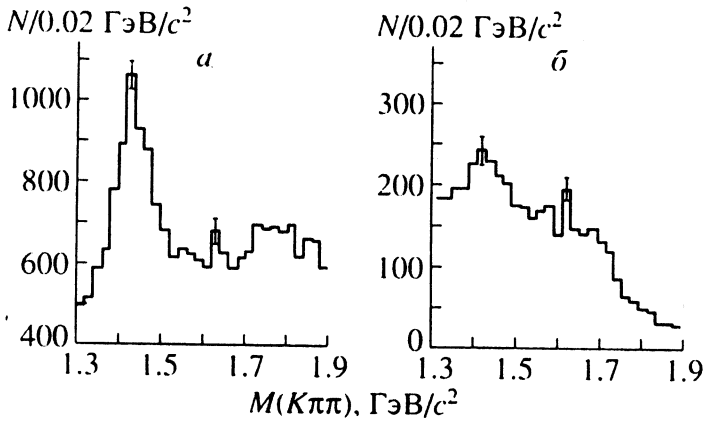


Рис. 7. Компилятивные спектры эффективных масс $K\pi\pi$ -систем: а) $\bar{K}^0\pi^+\pi^-$ из реакции $K^-p \rightarrow \bar{K}^0\pi^+\pi^-n$ при импульсах первичных K^- -мезонов 3,9-16,0 ГэВ/с, б) $K^0\pi^+\pi^- + K^+\pi^-\pi^0$ из реакций $\pi^-p \rightarrow \Lambda K^0\pi^+\pi^-$, $\pi^-p \rightarrow \Lambda K^+\pi^-\pi^0$ при импульсах первичных π^- -мезонов 3,8-6,0 ГэВ/с.

В отличие от камерных экспериментов, выполненных на установках с 4π -геометрией, компиляция спектров масс, полученных в электронных экспериментах, проблематична из-за сильно отличающихся по величине весов событий, связанных с акцептансом различных установок. Регистрация вторичных частиц в ограниченном переднем конусе приводит к потере части событий из процессов с большими переданными импульсами. Известны три электронных эксперимента по исследованию резонансных состояний в $\bar{K}^0\pi^+\pi^-$ -системе из реакции с перезарядкой нуклона $K^-p \rightarrow \bar{K}^0\pi^+\pi^-n$, рассмотренной в компиляциях. Эксперименты выполнены на спектрометрах с ограниченным акцептансом.

В эксперименте, выполненном на широкоапертурном *OMEGA*-спе-

ктрометре *CERN* при импульсах первичных K^- -мезонов 10 ГэВ/с, изучалось образование широких резонансов в реакции $K^-p \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ \pi^- n$ (Beusch W. et al., Phys.Lett., 1978, v.B74, p.282). В спектре эффективных масс $\bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ -системы, кроме изучавшихся известных широких резонансов $K_2^*(1430)$, $K_3^*(1780)$, наблюдается чёткая узкая структура в интервале 1600-1660 МэВ/с², соответствующем области массы $K(1630)$, с количеством стандартных отклонений в пике над фоном, близким к четырём (принятая авторами работы за статистическую флуктуацию). Из приведенных в работе результатов следует, что среди зарегистрированных событий с $M(\bar{K}^0 \pi^+ \pi^-) < 2$ ГэВ/с² около 10% имеют $t'(p \rightarrow n) > 0,8$ (ГэВ/с)². Можно предполагать, что узкая структура проявилась именно в этой части событий на фоне фрагментационных процессов. При выполнении парциально-волнового анализа проявились состояния $J^P = 2^+$ и $J^P = 3^-$, соответствующие резонансам $K_2^*(1430)$ и $K_3^*(1780)$. Наблюдение известных резонансов можно рассматривать как тест корректности эксперимента и его обработки. Парциально-волновой анализ в этой работе, видимо в предположении широких резонансов, проводился с шагом 100 МэВ/с². Возможно, поэтому узкая структура в интервале 1600-1660 МэВ/с² спектра эффективных масс $\bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ не проявилась достаточно отчётливо в каком-либо отдельном состоянии J^P .

В двух других электронных экспериментах (на *BNL* и *LASS* - спектрометрах) изучались широкие резонансные состояния в $\bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$ -системе в той же реакции с $t'(p \rightarrow n) < 0,2$ и $0,3$ (ГэВ/с)² при импульсах первичных K^- -мезонов 6 и 11 ГэВ/с. В приведенных спектрах эффективных масс выброс в области 1630 МэВ/с² не наблюдается (Etkin A. et al., Phys.Rev., 1980, v.D22, p.42; Aston D. et al., Nucl.Phys., 1987, v.B292, p.693).

Результаты анализа опубликованных работ, выполненных в экспериментах по исследованию резонансов в $K\pi\pi$ -системах, поддерживают полученное в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с указание на существование аномально узкого мезонного состояния $K(1630)$, образующегося в процессах с большими четырёхмерными переданными импульсами при $t' \geq 0,8$ (ГэВ/с)².

В пятой главе обсуждается возможная интерпретация обнаруженных аномально узких резонансных состояний $N(3520)$ и $K(1630)$. Сделан вывод, что эти резонансы могут быть кандидатами в экзотические многокварковые состояния ($udds\bar{s}$) и ($d\bar{s}q\bar{q}$), соответственно. Приведены возможные диаграммы образования этих состояний в π^-p -

взаимодействиях при 16 ГэВ/с.

Особенность образования этих состояний свидетельствует о том, что они образуются в процессах с большими четырехмерными переданными импульсами, в процессах с возможным барионным обменом. Образование узких экзотических многокварковых состояний в таких реакциях с $t > M_p^2$, обусловленных барионным обменом, предсказывалось в ряде теоретических работ.

Особенность распада этих состояний указывает на пространственную кластеризацию продуктов распада, их угловое разделение на две части при отсутствии каскадного распада. Кластеризация бесцветных продуктов распада состояний $N(3520)$ и $K(1630)$, возможно, является отражением динамики цветных кластеров, предсказываемой для узких экзотических многокварковых состояний в ряде теоретических работ.

Показано сходство особенностей этих состояний с особенностями узкого резонансного барионного состояния $\Sigma(3170)$ (возможного $(uuss\bar{s})$ -состояния), обнаруженного ранее в экспериментах CERN и ANL (USA) в K^-p -взаимодействиях при 8,25 и 6,5 ГэВ/с. Сделано предположение о существовании группы возможных экзотических адронных состояний с похожими особенностями.

Обсуждается возможное направление исследований экзотических адронных состояний в других экспериментах. Сделан вывод о перспективности дальнейших исследований малоизученных адронных взаимодействий с большими переданными импульсами при относительно невысоких энергиях, в частности, для выяснения вопросов, связанных с интерпретацией обнаруженных состояний и существованием других возможных экзотических состояний из этой группы. Показано, что детальное изучение таких процессов возможно на установках с областью регистрации частиц, близкой к 4π -геометрии.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации:

1. В π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с выполнено исследование процессов с образованием странных частиц K_s^0 , Λ , $\bar{\Lambda}$, Ξ^- , $\bar{\Xi}^+$, Ξ^0 и резонансов $K^*(892)^{0\pm}$, $\Sigma(1385)^{\pm}$. Полученные физические результаты (параметры состояний, характеристики процессов) согласуются с мировыми данными и свидетельствуют о надёжности экспериментального материала и методики его обработки.

При поиске экзотических резонансных состояний в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с впервые обнаружены неизвестные ранее статистически обеспеченные аномально узкие резонансные структуры:

$N(3520)$ в спектре эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$
 $(M = 3521 \pm 3 \text{ МэВ}/c^2, \Gamma = 6_{-6}^{+21} \text{ МэВ}/c^2, \sigma = 15 \pm 3 \text{ мкбн})$
и $K(1630)$ в спектре эффективных масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$
 $(M = 1629 \pm 7 \text{ МэВ}/c^2, \Gamma = 16_{-16}^{+19} \text{ МэВ}/c^2, \sigma = 20 \pm 5 \text{ мкбн})$.

2. Обнаружены особенности образования и распада барионного состояния $N(3520)$ и мезонного состояния $K(1630)$, кинематически не скоррелированные с общим количеством событий в интервале каждого из наблюдаемых пиков. Эти особенности отличают группу событий из интервала пика $N(3520)$ от событий из других интервалов спектра эффективных масс $K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ и группу событий из интервала пика $K(1630)$ от событий из других интервалов спектра масс $K_s^0 \pi^+ \pi^-$.

3. Показано сходство особенностей образования и распада состояний $N(3520) \rightarrow K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ и $K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$.

Особенность образования этих состояний состоит в том, что они образуются в процессах с большими четырехмерными импульсами, переданными от первичных частиц вторичным. Образование узких экзотических многокварковых состояний в таких реакциях, обусловленных барионным обменом, предсказывалось в ряде теоретических работ.

Особенность распада этих состояний указывает на пространственную кластеризацию их продуктов распада - угловое разделение продуктов распада на две части при отсутствии промежуточных состояний. Кластеризация бесцветных продуктов распада состояний $N(3520)$ и $K(1630)$, возможно, является отражением динамики цветных кластеров, предсказываемой для узких экзотических многокварковых состояний в ряде теоретических работ.

4. Обнаруженная особенность образования anomalно узких резонансных состояний $N(3520)$ и $K(1630)$ использована для выделения процессов с их образованием, что позволило обеспечить превышение сигнала над фоном в спектрах эффективных масс больше 10 стандартных отклонений для $N(3520)$ и близкое к 8 - для $K(1630)$.

Для мезонного состояния $K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ найдена особенность угловых распределений, указывающая на проявление спина $J \geq 1$.

5. В $\pi^- p$ -взаимодействиях при 16 ГэВ/с исследованы спектры эффективных масс других возможных систем K -мезона с π -мезонами. Статистически слабо обеспеченное проявление узкой структуры в области массы $1630 \text{ МэВ}/c^2$ найдено также в спектрах эффективных масс систем $K^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$, $K^- \pi^- \pi^+ \pi^+$, $K_s^0 \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$, $K^+ \pi^+ \pi^-$ и экзотической системы $K^+ \pi^- \pi^-$.

6. Проведен компилятивный анализ мировых экспериментальных

результатов по исследованию резонансных состояний в $K\pi\pi$ -системах. Показано, что в адронных взаимодействиях, не ограниченных малыми переданными импульсами, также проявляется узкий пик в области массы $1630 \text{ МэВ}/c^2$ в спектрах эффективных масс $K\pi\pi$ -систем, что согласуется с результатами настоящей работы.

7. По результатам проведенных исследований сделан вывод, что состояния $N(3520) \rightarrow K_s^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ и $K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ согласно представлениям ряда теоретических работ могут быть кандидатами в экзотические многокварковые состояния ($udds\bar{s}$) и ($d\bar{s}q\bar{q}$), соответственно.

8. Найдено сходство особенностей состояний $N(3520)$ и $K(1630)$ с особенностями аномально узкого барионного состояния $\Sigma(3170)$ (возможного ($uuss\bar{s}$)-состояния), обнаруженного ранее в экспериментах CERN и ANL (USA) в K^-p -взаимодействиях при 8,25 и 6,5 ГэВ/с. Сделано предположение о существовании новой группы адронных состояний с похожими особенностями, отличающими их от известных резонансов с легкими кварками, и образующихся в адронных взаимодействиях с большими четырехмерными переданными импульсами.

9. Проведенный анализ опубликованных работ показал, что систематический поиск резонансов с легкими кварками в других экспериментах проводился большей частью в процессах с малыми переданными импульсами в системах с малой множественностью частиц. Возможные экзотические состояния $N(3520)$, $K(1630)$, $\Sigma(3170)$ обнаружены в процессах с большими переданными импульсами.

Сделан вывод о перспективности поиска других возможных экзотических состояний в малоизученных адронных взаимодействиях с большими переданными импульсами при относительно невысоких энергиях, что может составить предмет нового направления экспериментальных исследований. Показано, что детальное исследование таких процессов возможно на установках с областью регистрации частиц, близкой к 4π -геометрии.

10. Предложен и применен новый подход к поиску резонансных состояний, позволяющий в ряде случаев отличать физический эффект от статистической флуктуации в спектре эффективных масс. Подход основан на выявлении особенностей образования и распада резонансного состояния, кинематически не скоррелированных с общим количеством комбинаций в интервале наблюдаемого пика в массовом распределении. Этот подход может быть использован для выяснения природы резонансноподобных структур в спектрах эффективных масс.

Основные результаты диссертации изложены в работах:

- [1] Баля Е., ..., Карнауков В.М. и др., " Ξ^0 -гиперон в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с", ЯФ, 1978, т.28, с.1437; Препринт ОИЯИ, P1-11654, Дубна, 1978.
- [2] Balea E., ..., Karnaukhov V.M. et al., " Ξ^- and Ξ^+ production in π^-p interactions at 16 GeV/c", Nucl.Phys., 1979, v.B150, p.345; JINR Preprint, E1-11653, Dubna, 1978.
- [3] Balea E., Berceanu S., Coca C., Karnaukhov V.M., Kellner G., Mihul A., Moroz V.I., Sararu A., "Neutral strange particle production in π^-p interactions at 16 GeV/c", Nucl.Phys., 1980, v.B163, p.21.
- [4] Balea E., Coca C., Karnaukhov V.M., Mihul A., Moroz V.I., Sararu A., "Two particle correlations involving neutral strange particles from π^-p interactions at 16 GeV/c", Revue Roumaine de Physique, 1982, v.27, p.707.
- [5] Coca C. and Karnaukhov V.M., "Triple Regge Analysis of the reaction $\pi^-p \rightarrow \Lambda + X$ at 16 GeV/c", Z.Phys., 1983, v.C18, p.267.
- [6] Karnaukhov V.M., Moroz V.I., Coca C., Mihul A., "About a possible 3.52 GeV/c² very narrow baryon resonance", Phys.Lett., 1992, v.B281, p.148.
- [7] Карнауков В.М., Мороз В.И., Кока К., Михул А., "О существовании бариона с массой 3.52 ГэВ/с²", ЯФ, 1994, т.57, с.841; Препринт ОИЯИ, P1-93-121, Дубна, 1993.
- [8] Карнауков В.М., Кока К., Мороз В.И., "Особенность барионной структуры с массой 3.52 ГэВ/с²", ЯФ, 1995, т.58, с.860.
- [9] Карнауков В.М., Кока К., Мороз В.И., "Узкая структура с $M = 1.63$ ГэВ/с² в спектре масс $K_s^0\pi^+\pi^-$ ", ЯФ, 1998, т.61, с.252.
- [10] Карнауков В.М., Кока К., Мороз В.И., "Особенности узкой структуры $K(1630) \rightarrow K_s^0\pi^+\pi^-$ ", ЯФ, 2000, т.63, с.652.
- [11] Balea E., Coca C., Karnaukhov V.M., Kellner G., Mihul A., Moroz V.I., "Strange particle cross sections from four-prong π^-p interactions at 16 GeV/c", Сообщения ОИЯИ, E1-12345, Дубна, 1979.

- [12] Карнаухов В.М., Кока К., Михул А., Мороз В.И., "Резонансы $\Sigma^\pm(1385)$, $K^{*0}(892)$ в π^-p -взаимодействиях при 16 ГэВ/с", Сообщения ОИЯИ, P1-86-373, Дубна, 1986.
- [13] Карнаухов В.М., "Кинематические особенности барионной структуры с массой 3,52 ГэВ/с² и способ их обнаружения", Сообщения ОИЯИ, P1-93-375, Дубна, 1993.
- [14] Карнаухов В.М., "Особенности мезонной структуры $K(1627) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$, способы их выявления", Сообщения ОИЯИ, P1-95-293, Дубна, 1995.
- [15] Карнаухов В.М., Кока К., Мороз В.И., "Свидетельства существования странного мезона с массой 1627 МэВ/с²", Сообщения ОИЯИ, P1-95-187, Дубна, 1995.
- [16] Карнаухов В.М., Кока К., Мороз В.И., "Процессы с образованием экзотической мезонной структуры $K(1627)$ ", Сообщения ОИЯИ, P1-96-76, Дубна, 1996.
- [17] Карнаухов В.М., Кока К., Мороз В.И., "Анализ экзотической структуры $K(1630) \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^-$ ", Сообщения ОИЯИ, P1-98-169, Дубна, 1998.
- [18] Karnaukhov V.M., Moroz V.I., Coca C., "Processes with a possible formation of exotic states", XV International Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 2000, <http://relnp.jinr.ru/ishepp/xv/pr/>; Proceedings of the XV ISHEPP, v.II, p.150, Dubna, 2001.
- [19] Karnaukhov V.M., Moroz V.I., Coca C., "About the common features of the possible exotic states $K(1630)$, $N(3520)$, $\Sigma(3170)$ observed experimentally", Сообщения ОИЯИ, E1-2001-185, Dubna, 2001.

Получено 14 апреля 2003 г.

Макет Н. А. Киселевой

Подписано в печать 16.04.2003.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,95. Тираж 100 экз. Заказ № 53854.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/