

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1-2006-76

На правах рукописи  
УДК 539.123, 539.126

**ЧУКАНОВ**  
Артём Владиславович

**ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ФРАГМЕНТАЦИИ  
В ПРОЦЕССАХ НЕЙТРИНОРОЖДЕНИЯ  
СТРАННЫХ АДРОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ  
NOMAD (CERN)**

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

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

Дубна 2006

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Дзелепова  
Объединённого института ядерных исследований.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

Д.В. Наумов

кандидат физико-математических наук

Б.А. Попов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

М.Г. Сапожников  
(ЛФЧ ОИЯИ)

доктор физико-математических наук, профессор

Э.В. Бугаев  
(ИЯИ)

Ведущая организация:

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Защита диссертации состоится “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2006 г. в “ \_\_\_\_\_ ”  
часов на заседании диссертационного совета Д 720.001.03 в Объединённом  
институте ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2006 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединённого инсти-  
тута ядерных исследований.

Учёный секретарь диссертационного совета  
доктор физико-математических наук



Ю.А. Батусов

Актуальность

Одной из актуальных задач физики высоких энергий является изучение механизмов рождения странных адронов в глубоконеупругих взаимодействиях нейтрино с веществом. Для этой цели могут быть изучены нейтральные странные адроны ( $\Lambda^0$ ,  $\bar{\Lambda}^0$  гипероны и  $K_S^0$  мезоны), рождённые прямым образом или в результате распадов тяжёлых странных адронов ( $\Sigma^0$ ,  $\Xi$ ,  $\Sigma^*$ ,  $\bar{\Sigma}^*$  барионов или  $K^*$  мезонов). Анализ вероятности их рождения в различных кинематических областях позволяет улучшить качественно и количественно наши знания о механизмах адронизации кварков и совершенствовать феноменологические модели фрагментации. Использование таких моделей необходимо для корректного моделирования физических процессов в детекторе что, как следствие, позволяет более точно учитывать его особенности при анализе данных и правильное интерпретировать полученные результаты.

Одной из популярных (до середины 90-х годов прошлого столетия) моделей фрагментации струны являлась модель Лунд [1] в основу которой заложен механизм рождения кварк-антикварковых и дикварк-антидикварковых пар с их последующей фрагментацией в адроны. Модель Лунд обладает набором свободных параметров, регулирующих вклады различных механизмов фрагментации, например, таких как:

- импульсные распределения родившихся кварков;
- подавления вероятности рождения пары дикварк-антидикварк в цветовом поле по сравнению с рождением кварк-антикварковой пары;
- подавления вероятности рождения пар  $s$ -кварков в поле по сравнению с вероятностью рождения пары  $u$ - или  $d$ -кварков;
- направления спинов родившихся кварков и спиновые состояния образовавшихся адронов;
- дополнительное подавление рождения адронов с орбитальными и радиальными возбуждениями по сравнению с рождением адронов в основном состоянии (вследствие разности масс).

Количественное описание вышеперечисленных эффектов контролируется набором параметров со своими значениями по умолчанию, следующими из простых теоретических соображений и моделей (таких как  $SU_f(3) \times SU_s(2)$ ). Для корректного определения свободных параметров необходимо

использование экспериментальных данных, которые сравниваются с предсказаниями модели. Эксперимент NOMAD, обладающий на сегодняшний день максимальной статистикой событий нейтринных взаимодействий с хорошим качеством реконструкции, сравнимым с качеством реконструкции экспериментов на пузырьковых камерах, может служить наилучшим инструментом для изучения механизмов рождения странных адронов, а также для определения параметров моделей адронизации кварков в нейтринных взаимодействиях. Подавляющее большинство моделей адронизации кварков и дикварков обходит стороной спиновые состояния рождённых адронов. В первую очередь, это связано с недостатком экспериментальных данных. Сегодня спиновая структура нуклона и спиновые функции фрагментации выходят на первый план, после революционного эксперимента EMC [2], в таких экспериментах как COMPASS, HERMES, JLAB и других. В этой связи исследование выстроенности спинов векторных  $K^*$ -мезонов, осуществлённое и представленное в данной диссертации, является актуальным.

Таким образом, целью настоящей диссертации является настройка параметров фрагментации струны в модели Лунд для нейтринного эксперимента NOMAD, изучение параметров фрагментации кварков в адроны (на основе изучения множественного рождения нейтральных странных частиц), а также исследование выстроенности спинов кварка и антикварка, образующих векторный странный мезон. По возможности, после детального изучения вышеописанных спиновых свойств частиц, эти эффекты могут быть учтены при моделировании взаимодействий.

### Цели работы:

- Измерение вероятностей рождения (выходов) каналов с одиночным и множественным рождением нейтральных странных частиц и, на основе полученных результатов, определение параметров рождения странности, выходов (анти)странных кварков и выходов  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $K^0$ ,  $\bar{K}^0$  мезонов.
- Изучение рождения векторных  $K^*$  мезонов в  $\nu_\mu N$  взаимодействиях по каналу заряженного тока.
- Измерение тензора поляризации векторных  $K^*$  мезонов.
- Настройка программы моделирования нейтринных взаимодействий для эксперимента NOMAD на основе измеренных выходов странных частиц и резонансов.

## Практическая ценность

1. Измерены сечения одиночного и множественного образования нейтральных странных адронов.
2. Предложен и реализован метод измерения выходов странных кварков и антикварков, выходов заряженных каонов и, по отдельности, нейтральных каонов и антикаонов.
3. Реализована программа измерения тензора поляризации векторных  $K^*$  мезонов.
4. Настроенная программа моделирования нейтринных взаимодействий может быть применена в будущих нейтринных экспериментах, таких как OPERA или для будущих экспериментов на пучке нейтринной фабрики.

## Научная новизна

1. Улучшена модель рождения странности, описывающая множественное рождение нейтральных странных частиц и изначально предложенная в [3].
2. На основе данной модели проведены первые измерения выходов странных кварков и антикварков, выходов заряженных каонов и, по отдельности, нейтральных каонов и антикаонов, рождающихся в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока.
3. Впервые в нейтринных взаимодействиях изучены свойства рождения векторных  $K^*$  мезонов – вероятности рождения, распределения по различным кинематическим переменным.
4.  $K^{*\pm}$  мезоны в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока рождаются с равными вероятностями иметь мезону положительную, отрицательную и нулевую проекции спина на направление движения.

## Апробация работы

Результаты диссертации докладывались автором на научных семинарах ЛЯП (ОИЯИ), Иркутского государственного университета (ИГУ), на

рабочих совещаниях ИФВЭ-ОИЯИ, на рабочих совещаниях коллаборации NOMAD, на международной конференции SPIN2003 (16-20 сентября 2003 года, Дубна).

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в 4 работах.

## Структура диссертации

Диссертация состоит из 8 глав, заключения и двух приложений, выделенных в четыре части: "Введение", "Реконструкция и моделирование событий в эксперименте NOMAD", "Анализ экспериментальных данных" и "Приложения".

## Содержание диссертации

В первой главе кратко обсуждается актуальность применения моделирования взаимодействий в современных экспериментах, приводятся основные моменты и принципы моделирования на уровне генератора событий. Приведены формулы сечения нейтрино-нуклонного рассеяния, кратко описывается модель Лунд [1] фрагментации струны и модель формирования внутриядерного каскада [4]. Приводятся основные проблемы, возникающие при моделировании взаимодействий и, в качестве примера обсуждается фактор подавления странности.

Во второй главе рассмотрен способ измерения выходов странных адронов, параметров фрагментации странных кварков, а так же выходов странных каонов в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока. Данный анализ основан на модели рождения странности, описывающей множественное рождение нейтральных странных частиц, изначально предложенной коллаборацией из лаборатории Ферми [3] и усовершенствованной в настоящей диссертации.

Третья глава посвящена изучению спиновых свойств фрагментации кварков в адроны. Рассматривается способ измерения относительных спиновых ориентаций кварков при фрагментации струны с помощью изучения преимущественного направления проекции спина векторного мезона. Обсуждается модель, предложенная в работе [5], основанная на результатах измерения выстроенности спинов векторных мезонов в экспериментах на LEP при аннигиляции электрон-позитронной пары в  $Z^0$  полюсе. Данная модель предсказывает преимущественно нулевую проекцию спина мезона на направление его движение (значение  $\rho_{00}$  параметра больше значения  $1/3$  и увеличивается в области фрагментации пучка).

Обсуждаются физические задачи, которые могут быть решены при изучении выстроенности спинов векторных  $K^*$  мезонов, рождённых в глубоко-конеупругих взаимодействиях нейтрино с веществом. Одной из задач является проверка гипотезы о различных механизмах образования мезонов из фрагментации струны или лидирующего кварка.

**В четвёртой главе** дается описание пучка нейтрино и всех важнейших компонентов установки NOMAD на ускорителе SPS в ЦЕРН. Определяется система координат детектора, кратко описываются система veto, передний калориметр, дрейфовые камеры, триггерные плоскости, детектор переходного излучения, детектор ливней, электромагнитный калориметр, адронный калориметр и мюонные камеры. На рис. 1 представлена схема детектора NOMAD.

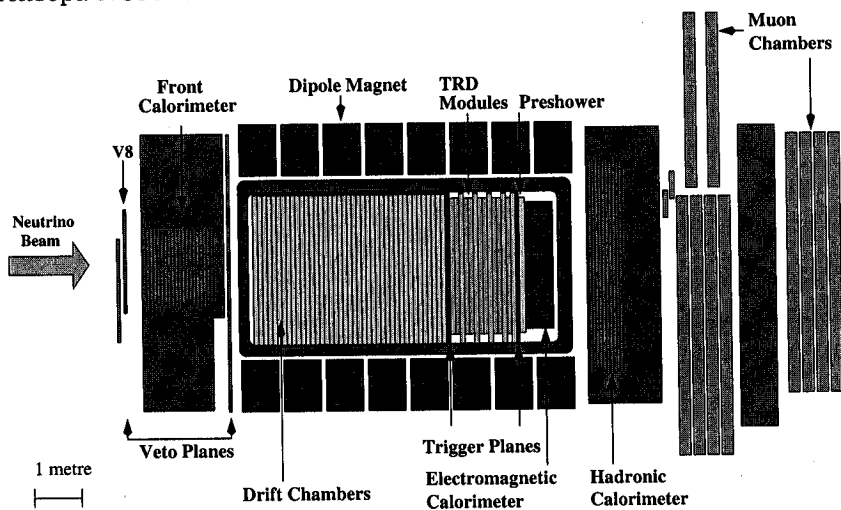


Рис. 1: Детектор NOMAD (вид сбоку)

Далее, в четвёртой главе определяются триггеры, используемые при наборе данных. Дается принципиальная схема моделирования пучка нейтрино и событий взаимодействия нейтрино в установке NOMAD.

**В пятой главе** излагаются вопросы, связанные с реконструкцией и отбором глубококонеупругих взаимодействий нейтрино по каналу заряженного тока и с идентификацией нейтральных странных частиц, распавшихся в детекторе на две противоположно заряженные частицы, оставившие два реконструированных трека, исходящих из одной вершины (так называемое  $V^0$  событие).

В разделе, посвящённом реконструкции и отбору глубоконеупругих взаимодействий мюонного нейтрино по каналу заряженного тока, описывается процедура реконструкции треков и вершин, вычисление кинематических переменных, а также критерии качества, накладываемые на нейтринные события. Используемый в анализе набор глубоконеупругих взаимодействий нейтрино по каналу заряженного тока обладает ничтожно малой примесью фоновых событий: 0,4%.

Излагается метод идентификации  $V^0$  частиц, основанный на предварительном отборе кандидатов и последующем кинематическом решении о типе  $V^0$ -вершины. Приводятся подробные результаты идентификации  $K_S^0$  мезонов, и  $\Lambda^0$ ,  $\bar{\Lambda}^0$  гиперонов, рожденных в глубоконеупругих взаимодействиях мюонного нейтрино по каналу заряженного тока. В эксперименте NOMAD отобрано рекордное количество нейтральных странных частиц, идентифицированных в глубоконеупругих взаимодействиях нейтрино по каналу заряженного тока, которые характеризуются высокими чистотой и эффективностью идентификации (см. таб. 1).

Таблица 1: Эффективность и чистота идентификации  $V^0$  (%). Число идентифицированных  $V^0$  частиц в эксперименте NOMAD.

	$K_S^0$	$\Lambda^0$	$\bar{\Lambda}^0$
эффективность	$93,1 \pm 0,1$	$86,6 \pm 0,1$	$72,0 \pm 0,5$
чистота	$97,1 \pm 0,1$	$93,5 \pm 0,2$	$86,0 \pm 0,9$
$N_{V^0}$	14280	7384	606

**В шестой главе** приведён метод измерения выходов частиц в экспериментальных данных, а так же показано несоответствие предсказанных программой моделирования нейтринных взаимодействий с параметрами модели Лунд установленными “по умолчанию”, выходов нейтральных странных частиц и некоторых распределений реальным данным.

Используя полученные результаты о выходах странных частиц и резонансов проведена настройка программы моделирования нейтринных взаимодействий, а так же сравнение параметров, полученных в нашем анализе для эксперимента NOMAD с параметрами, полученными в эксперименте ALEPH [6]. Приведена относительная разница между выходами странных частиц, полученными при использовании различных параметризаций структурных функций, применимых при малых значениях переданного 4-импульса.



Проводится сравнение реконструированных кинематических переменных в данных и моделированных событиях с настроенными параметрами фрагментации струны. Рассматриваются кинематические переменные нейтринного взаимодействия, интегральные выходы нейтральных странных частиц, их зависимость от кинематических переменных, описывающих нейтринное взаимодействие, рождение и распад  $V^0$ , а также переменные, характеризующие поведение нейтральных странных адронов в адронной струе.

**В седьмой главе** представлен анализ множественного рождения нейтральных странных частиц в  $\nu_\mu$  взаимодействиях по каналу заряженного тока, в котором были измерены выходы нейтральных странных адронов, появляющихся в различных комбинациях. Одним из главных полученных результатов стало вычисление полных выходов странных кварков и антикварков, измерение по отдельности выходов  $K^0$  и  $\bar{K}^0$  мезонов, а также оценка выходов заряженных странных каонов, изначально неидентифицируемых в эксперименте NOMAD. Эти результаты показывают, что в экспериментальных данных заряженные  $K$  мезоны рождаются чаще нейтральных, в то время как в программе моделирования событий эти выходы практически равны, что говорит о том, что модель Лунд неправильно описывает рождение мезонов. В таблицах 2 и 3 представлены основные результаты по выходам странности, полученные на уровне генератора событий NEGLIB и с помощью нашей модели в данных и моделированных событиях (величины  $T_{X(s)}$  и  $T_{X(\bar{s})}$  описывают выходы заряженных странных адронов, содержащих, соответственно странный кварк и антикварк).

Таблица 2: Выходы (в %) странных частиц содержащих  $s$ -кварк в данных и наборе моделированных событий. Выходы получены на основе модели рождения странности.

Выходы	NEGLIB	МС	Данные
$T_\Lambda$	5,87	$5,63 \pm 0,70 \pm 0,05$	$5,62 \pm 1,51 \pm 0,32$
$T_{K^0}$	8,18	$7,61 \pm 1,72 \pm 0,14$	$8,10 \pm 3,98 \pm 0,89$
$T_{X(s)}$	9,39	$8,48 \pm 0,84 \pm 0,07$	$22,48 \pm 4,50 \pm 0,99$
$T_s$	23,43	$21,72 \pm 1,90 \pm 0,15$	$36,19 \pm 6,81 \pm 1,50$

**В восьмой главе** представлен анализ выстроенности спинов, а также интегральных выходов и их зависимостей от различных кинематических переменных для векторных  $K^{*\pm}$  мезонов, рождающихся в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока и распадающихся на  $K^0\pi$  пару

Таблица 3: Выходы (в %) странных частиц содержащих  $\bar{s}$ -кварк в данных и наборе моделированных событий. Выходы получены на основе модели рождения странности.

Выходы	NEGLIB	МС	Данные
$T_{\bar{\Lambda}}$	0,50	$0,47 \pm 0,08 \pm 0,01$	$0,45 \pm 0,14 \pm 0,03$
$T_{K^0}$	9,03	$9,54 \pm 1,48 \pm 0,08$	$8,87 \pm 2,92 \pm 0,57$
$T_{X(\bar{s})}$	12,53	$8,46 \pm 0,92 \pm 0,07$	$23,70 \pm 5,03 \pm 1,10$
$T_{\bar{s}}$	22,06	$18,48 \pm 1,91 \pm 0,15$	$33,02 \pm 6,88 \pm 1,51$

(см. таблицу. 4). Следует заметить, что эти результаты получены впервые в нейтринных экспериментах.

Нами так же было обнаружено, что выходы  $K^{*\pm}$  мезонов монотонно растут с увеличением энергии нейтрино, переданного 4-х импульса и полной энергии адронной системы. Зависимости выходов от переменных  $x_{Bj}$  и  $y_{Bj}$ <sup>1</sup> для  $K^{*+}$  и  $K^{*-}$  мезонов различны, что может быть объяснено различием механизмов рождения –  $K^{*-}$  рождаются в основном из фрагментации струны, в то время как  $K^{*+}$  мезоны в равной степени рождаются в результате фрагментации струны и фрагментации выбитого кварка (см. рис. 2).

Таблица 4: Полное число, абсолютный выход, относительный выход и значение  $\rho_{00}$  параметра для  $K^*(892)^\pm$  мезонов, рождённых в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока и распадающихся на  $K^0\pi$  пару (приведены статистические и систематические ошибки).

	$K^{*+}$	$K^{*-}$
Число $K^*$	$26676 \pm 1784 \pm 1863$	$16278 \pm 1372 \pm 500$
Выходы $K^*$ (%)	$2,6 \pm 0,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1 \pm 0,1$
$\frac{N(K^* \rightarrow K^0\pi)}{N(K^0)}$ (%)	$15,3 \pm 1,0 \pm 1,0$	$9,4 \pm 0,8 \pm 0,3$
$\rho_{00}$	$0,40 \pm 0,06 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,07 \pm 0,03$

Полученные данные по измерению  $\rho_{00}$  параметра указывают на отсутствие выстроенности спинов  $K^{*\pm}$  мезонов (значение  $\rho_{00}$  параметра в пре-

<sup>1</sup>Переменные Вьёркена:  $x_{Bj}$  - доля импульса нуклона, переносимая кварком, на котором произошло взаимодействие;  $y_{Bj}$  - доля первоначальной энергии лептона, уносимая адронами.

делах ошибок совпадает со значением  $1/3$ ). Также было получено, что распределения  $\rho_{00}$  параметра от переменных  $z$  и  $x_F$  для  $K^{*+}$  и  $K^{*-}$  мезонов различны. Однако, мы не можем сделать окончательный вывод из-за больших статистических ошибок, впрочем так же как и о подтверждении или опровержении модели [5].

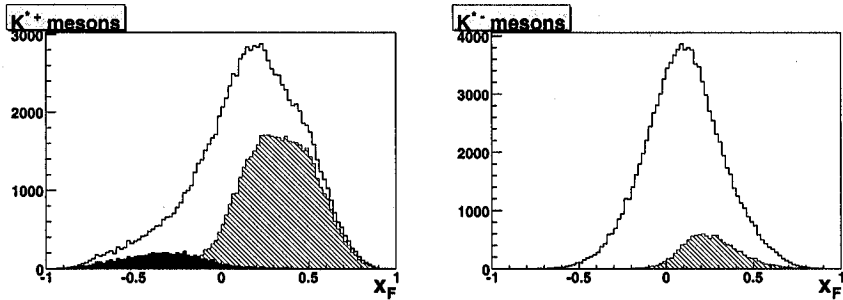


Рис. 2: Предсказание распределения по переменной  $x_F$  для  $K^{*+}$  мезонов (слева) и  $K^{*-}$  мезонов (справа), рождённых в процессе фрагментации ди-кварка (закрашенная площадь) и кварка (заштрихованная площадь) в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока. Остальные  $K^*$  мезоны рождаются в процессе фрагментации струны.

**В приложении А** приведены выражения для выходов различных каналов с одиночным и множественным рождением нейтральных странных частиц, записанные через параметры модели рождения странности.

**В приложении В** представлены зависимости выходов нейтральных странных частиц и выходов каналов с одиночным и множественным рождением нейтральных странных частиц от PARJ параметров фрагментации струны программы JETSET [7]. Остальные параметры выставлены со значениями “по умолчанию”.

## В заключении

*приведены основные результаты и выводы*

1. Настроены параметры модели Лунд фрагментации струны. Получено согласие в пределах ошибок измерения для интегральных выходов странных адронов между моделированными событиями и данными эксперимента NOMAD.
2. Развита модель рождения странности, позволяющая извлечь из данных полные выходы странных кварков и антикварков, оценить выходы заряженных странных каонов, неидентифицируемых в эксперименте NOMAD, а так же по отдельности выходы  $K^0$  и  $\bar{K}^0$  мезонов.
3. Впервые измерены выходы странных кварков и антикварков, рождающихся в  $\nu_\mu$  взаимодействиях по каналу заряженного тока, равные (в %):  $T_s = 35,3 \pm 7,0$  (стат.)  $\pm 4,1$  (сист.) и  $T_{\bar{s}} = 32,2 \pm 7,0$  (стат.)  $\pm 4,2$  (сист.). Выходы заряженных каонов в данных оцениваются на уровне 21% и 23% для  $K^-$  и  $K^+$  мезонов соответственно.
4. Впервые в нейтринных экспериментах были изучены свойства рождения векторных  $K^{*\pm}$  мезонов, распадающихся на  $K^0\pi^\pm$  пару.

В эксперименте NOMAD в  $\nu_\mu$  взаимодействиях по каналу заряженного тока было выделено  $1803 \pm 121 K^{*+} \rightarrow K_S^0\pi^+$  и  $1060 \pm 89 K^{*-} \rightarrow K_S^0\pi^-$  распадов.

Вероятности рождения  $K^{*\pm}$  мезонов равны (в %):  $2,6 \pm 0,2$  (стат.)  $\pm 0,2$  (сист.) и  $1,6 \pm 0,1$  (стат.)  $\pm 0,1$  (сист.) для  $K^{*+}$  и  $K^{*-}$  соответственно.

Изучена зависимость выходов  $K^{*\pm}$  мезонов от основных кинематических переменных: энергии нейтрино, переданного 4-х импульса, полной энергии адронной системы. Вероятности рождения  $K^{*\pm}$  мезонов монотонно растут с увеличением значения этих переменных.

Вероятности рождения  $K^{*\pm}$  мезонов в  $\nu_\mu$  взаимодействиях заряженного тока с  $+1$ ,  $-1$  и  $0$  проекциями спина на ось движения эквивалентны, измеренные значения  $\rho_{00}$  параметра равны:  $0,40 \pm 0,06$  (стат.)  $\pm 0,03$  (сист.) и  $0,28 \pm 0,07$  (стат.)  $\pm 0,03$  (сист.) для  $K^{*+}$  и  $K^{*-}$  соответственно.

**Результаты диссертации  
опубликованы в следующих работах:**

1. P. Astier *et al.*, [NOMAD Collaboration] A Study of Strange Particle Production in  $\nu_\mu$  CC Interactions in the NOMAD Experiment // Nucl. Phys. B **621** 2001 P. 3;
2. A.V. Chukanov, D.V. Naumov, B.A. Popov A Study of Multiple Production of Neutral Strange Particles in  $\nu_\mu$  CC Interactions in the NOMAD Experiment // Phys. Part. Nucl. Lett. V. 5 2006; JINR Commun. E1-2006-26. Dubna, 2006;
3. A. Chukanov *et al.*, [NOMAD Collaboration] Production properties of  $K^*(892)^\pm$  vector mesons and their spin alignment as measured in the NOMAD experiment // Eur. Phys. J. C **46** 2006 P. 69;
4. Artem Chukanov [for NOMAD Collaboration] Spin alignment of  $K^*(892)$  vector mesons in  $\nu_\mu$  interactions and  $\Lambda^0$  and  $\bar{\Lambda}^0$  polarization in neutrino neutral current interactions as measured in the NOMAD experiment // Proceedings of the X Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics, DUBNA-SPIN-2003, Dubna, September 16-20, 2003, Dubna: JINR, 2004, p. 301.

## Список литературы

- [1] B. Andersson, G. Gustafson, G. Ingelman and T. Sjöstrand, *Phys.Rep.* **97** (1983); T. Sjöstrand et al., *Int. J. Mod. Phys A* **3** 751 (1988).
- [2] J. Ashman *et al.*, [EMC Collaboration], *Phys. Lett.* **B206**, 364 (1988); *Nucl. Phys.* **B328**, 1 (1989).
- [3] N.J. Baker *et al.*, *Phys. Rev.* **D34** (1986) 1251.
- [4] L. Stodolsky: Formation Zone Description in Multiproduction, in Proceedings of the VI-th International Colloquium on Multiparticle Reactions, Oxford, U.K., p. 577, 1975;  
J. Ranft, *Z. Phys.* **C 43**, 439 (1989);  
A. Ferrari, P. R. Sala, J. Ranft and S. Roesler, *Z. Phys.* **C 70**, 413 (1996).
- [5] Xu Qing-hua, Liu Chun-xiu and Liang Zuo-tang, *Phys. Rev.* **D 63** 111301(R) (2001).
- [6] R. Barate *et al.*, [ALEPH Collaboration], *Phys. Rept.* **294** (1998) 1.
- [7] T. Sjöstrand, "PYTHIA 5.7 and JETSET 7.4: physics and manual", LU-TP-95-20 (1995); hep-ph/9508391;  
T. Sjöstrand, *Comp. Phys. Comm* **39** (1986) 347;  
T.Sjöstrand and M. Bengtsson, *Comp. Phys. Comm* **43** (1987) 367;  
H-U. Bengtsson and T.Sjöstrand, *Comp. Phys. Comm* **46** (1987) 43.

Получено 25 мая 2006 г.

Отпечатано методом прямого репродуцирования  
с оригинала, предоставленного автором.

Подписано в печать 25.05.2006.

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

Усл. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 0,87. Тираж 100 экз. Заказ № 55352.

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

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)