

К-202

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1-91-153

**КАПИШИН**  
Михаил Николаевич

**РОЖДЕНИЕ  $\phi$ -МЕЗОНОВ НЕЙТРОНАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ 30-70 ГэВ**

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

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

Дубна 1991

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий и Лаборатории сверхвысоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:  
доктор физико-математических наук

доктор физико-математических наук,  
профессор

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук,  
профессор

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт физики высоких энергий, Протвино, Московская область.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1991 года в \_\_\_ час. на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Московская область, конференц-зал ЛВЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1991 года.

Ученый секретарь  
Специализированного совета

*М.Ф. Лихачев*

М.Ф. ЛИХАЧЕВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

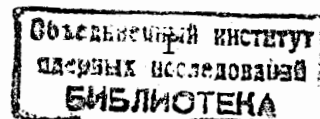
В рамках кварковой модели нарушенной  $SU(3)$  симметрии с идеальным смешиванием октетного и синглетного состояний  $\phi$ -мезон является членом семейства векторных мезонов со скрытым ароматом и представляет собой систему из  $s\bar{s}$  валентных кварков. Поэтому исследование свойств адронного рождения  $\phi$ -мезонов важно для выяснения динамики образования и взаимодействия странных кварков. Сравнение с соответствующими характеристиками образования систем из более легких и более тяжелых кварков позволяет выявить закономерности, определяемые ароматом входящих в адрон кварков.

До настоящего времени анализировалось рождение  $\phi$ -мезонов в пучках  $\pi^+$ ,  $K^+$  и  $p(\bar{p})$ , но систематические исследования на большой статистике были выполнены только в эксперименте ACCMOR, проведенном на ускорителе SPS в CERN. Эти данные были получены в ограниченной кинематической области регистрируемых  $\phi$ -мезонов и ограниченном интервале энергий реакции. До настоящего времени отсутствовали экспериментальные данные о рождении  $\phi$ -мезонов в нейтронном пучке. Значительный интерес представляет исследование таких аспектов адронного рождения  $\phi$ -мезонов как влияние ядерных эффектов, справедливость правила Окубо-Цвейга-Иидзуки (ОЦИ), особенности парного рождения  $\phi$ -мезонов.

Целью диссертационной работы является систематическое исследование механизмов образования  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных и нейтрон-ядерных взаимодействиях при энергии нейтронов 30-70 ГэВ.

### Новизна, научная значимость и практическая ценность работы.

I. Впервые получены данные по широкому спектру характеристик образования  $\phi$ -мезонов нейтронами: дифференциальным и полным инклюзивным сечениям, зависимости сечения от атомного номера ядра-мишени, вкладу ОЦИ-разрешенных процессов и парного рождения  $\phi$ -мезонов.



2. Разработана новая методика идентификации заряженных адронов с помощью системы двух пороговых газовых черенковских счетчиков и на ее основе создан комплекс математических программ, широко используемый сотрудничеством БИС-2 при решении различных физических задач.

3. Полученные в диссертации результаты используются при планировании эксперимента "ЭКСЧАРМ" на серпуховском ускорителе.

#### Апробация работы и публикации.

Результаты, вошедшие в диссертацию, обсуждались на семинарах в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, Институте физики высоких энергий (Берлин-Цойтен), Институте физики АН ЧССР (Прага), рабочих совещаниях сотрудничества БИС-2; были представлены на 25-й Международной конференции по физике высоких энергий (Сингапур, 1990 г.). Основные результаты диссертации опубликованы в работах /1-7/.

#### Объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитированной литературы.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, дан краткий обзор экспериментальной ситуации и выделены наиболее перспективные направления. Сформулирована цель диссертации, обосновывается ее научная значимость и практическая ценность. Приведена структура диссертации.

В первой главе проанализированы основные требования, предъявляемые к эксперименту для решения поставленной задачи:

- надежная идентификация заряженных частиц;
- высокое разрешение по эффективной массе вторичных частиц;
- высокая светимость эксперимента;
- достаточно высокая эффективность регистрации  $\phi$ -мезонов.

Экспериментальные данные, лежащие в основе диссертации,

получены с помощью спектрометра БИС-2, расположенного на канале нейтральных частиц (4Н) серпуховского ускорителя. Пучок канала 4Н формировался из нейтронов широкополосного энергетического спектра со средней энергией около 40 ГэВ при небольшой примеси малоэнергетичных  $K_L^0$ -мезонов - 1,5%.

Схема основных элементов спектрометра БИС-2 показана на рис.1. Спектрометрический магнит типа СП-40 имел эффективную длину по пучку 200 см и апертуру  $100 \times 29$  см. Поле магнита

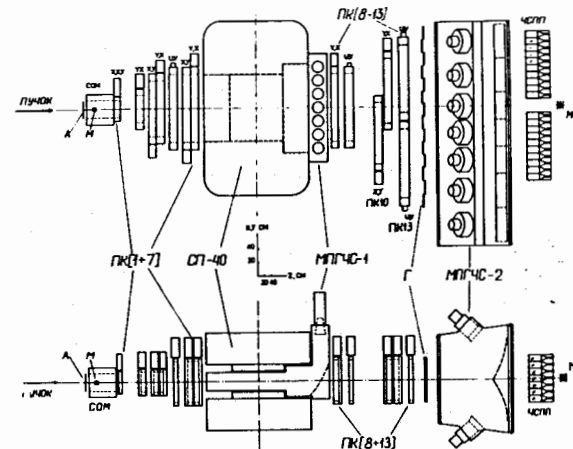


Рис.1 Схема спектрометра БИС-2.

изменяло поперечную составляющую импульса заряженных частиц на 0,63 ГэВ/с. Система из 13 двухкоординатных пропорциональных камер (ПК), расположенных до и после магнита, использовалась для регистрации траекторий заряженных частиц и для формирования запускающего установку сигнала. Для идентификации заряженных частиц использовались два многоканальных пороговых газовых черенковских счетчика (МПЧС-1,2). Годоскоп сцинтилляционных счетчиков (Г) применялся в системе запуска спектрометра. Поток нейтронов контролировался нейтронным монитором (МН). В качестве мишеней использовались водород (0,05 ядерной длины) и три ядерных мишени: углерод, алюминий и медь (по 0,1 ядерной длины). Условия запуска спектрометра были благоприятны для регистрации событий с 4-мя или более вторичными заряженными частицами. Первичная экспериментальная информация, проанализированная в диссертационной работе, соответствует  $\sim 9 \cdot 10^6$  зарегистрированных взаимодействий нейтронов с водородной мишенью и по  $\sim 4 \cdot 10^6$  взаимодействий с каждой из ядерных мишеней.

Вторая глава посвящена исследованию характеристик системы идентификации заряженных частиц на основе МПЧС-1,2, главная задача которой – разделять с высокой эффективностью  $\pi/K/p$  в широком интервале импульсов от 3 до 40 ГэВ. В качестве радиаторов использовался воздух (МПЧС-1) и фреон-12 (МПЧС-2). Характеристики МПЧС-1,2 приведены в таблице I.

Таблица I

| Счетчик | Число каналов | Газ      | Импульс порога, ГэВ/с |      |      |
|---------|---------------|----------|-----------------------|------|------|
|         |               |          | $\pi$                 | K    | p    |
| МПЧС-1  | 7             | воздух   | 6,0                   | 21,2 | 40,3 |
| МПЧС-2  | 14            | фреон-12 | 3,1                   | 10,8 | 20,5 |

Таким образом, система идентификации в идеальном случае позволяла в области импульсов  $3 \div 11$  ГэВ/с отделить K/p от  $\pi$ , в области  $11 \div 21$  ГэВ/с – осуществить полное разделение  $\pi/K/p$ . Этим импульсным интервалам соответствовала основная часть вторичных заряженных частиц, регистрируемых спектрометром БИС-2. В области импульсов от 21 до 40 ГэВ/с возможно отделение p от  $\pi/K$ .

В реальных экспериментальных событиях черенковский свет от одной частицы распределялся между несколькими каналами счетчиков (в среднем 1,8 для МПЧС-1 и 1,5 для МПЧС-2), в то же время происходило наложение света от нескольких частиц в одних и тех же каналах (для 30% частиц в МПЧС-1 и 20% частиц для МПЧС-2), а также фоновое срабатывание счетчиков от незарегистрированных частиц (15-25% для МПЧС-1 и 10-15% для МПЧС-2). Поскольку МПЧС-1 расположен между полюсами спектрометрического магнита СП-40, анализ полученной с него информации усложнен из-за искривления траекторий заряженных частиц в магнитном поле.

Была разработана методика анализа данных с МПЧС, учитывающая приведенные выше аспекты. В качестве входных данных использовались параметры траекторий частиц, их импульсы, отсчеты черенковских счетчиков, а также эффективности отдельных каналов счетчиков и вероятности их фоновых срабатываний. Эффективности счетчиков при регистрации частиц с импульсом

выше порога составили в среднем 98% для каналов МПЧС-1 и 99% для каналов МПЧС-2. В предложенном алгоритме идентификации для заряженных частиц рассматриваются три гипотезы об их массе, соответствующие пиону, каону, протону или их античастицам. В рамках каждой гипотезы вычисляется распределение черенковского света между отдельными каналами счетчиков и из сопоставления с реальными конфигурациями сигналов в МПЧС-1,2 определяются относительные вероятности (статистические "веса") этих гипотез для каждой заряженной частицы.

Возможности системы идентифицировать  $\pi^+$ ,  $p/\bar{p}$  были исследованы на распадах  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ,  $\Lambda \rightarrow p \pi^-$ ,  $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} \pi^+$ , которые были выделены независимо – по соответствующим спектрам эффективных масс продуктов распада, а также из анализа распадов очарованных барионов  $\Lambda_C^+ \rightarrow K_S^0 p \pi^+ \pi^-$ . Были получены следующие оптимальные для дальнейшего анализа результаты: при выделении  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  фон понижен соответственно на 40%, 30% и 90%. При этом было потеряно соответственно 3%, 5% и 25% исследуемых частиц. При практически полном сохранении сигнала  $\Lambda_C^+$  фон под пиком уменьшился в 2 раза. С помощью системы идентификации выделен также процесс с участием заряженных каонов – распад узкого резонанса  $\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-$ . Фон под пиком  $\phi$ -мезона в спектре эффективных масс  $K^+ K^-$  удалось подавить в 40 раз при потере не более 30% сигнала. Возможности системы идентифицировать распады  $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} \pi^+$ ,  $\phi \rightarrow K^+ K^-$  и  $\Lambda_C^+ \rightarrow K_S^0 p \pi^+ \pi^-$  показаны на рис.2а-2в.

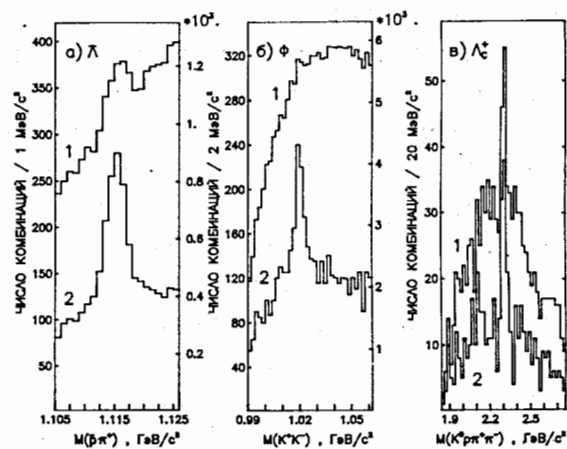


Рис.2 Спектры инвариантных масс а)  $p\pi^-$ , б)  $K^+K^-$ , в)  $K_S^0 p \pi^+ \pi^-$  без идентификации – (1) и с использованием идентификации продуктов распада – (2).

Таким образом, с использованием предложенного алгоритма была достигнута высо-



кая эффективность идентификации  $\pi/K/p$  в исследуемых на установке БИС-2 многочастичных событиях.

Глава 3 посвящена методике обработки экспериментальной информации и моделированию исследуемых процессов образования  $\phi$ -мезонов. Приведена общая структура поэтапного анализа данных. На этапе геометрической реконструкции событий с помощью программы PERUN восстанавливались траектории заряженных частиц. На этапе статистического анализа с помощью программы BISMIX уточнялись их параметры, исключались траектории, генерированные при реконструкции событий, осуществлялась идентификация заряженных частиц, выделялись "нейтральные вилки"  $\nu^0$  как пары разноименно заряженных частиц, траектории которых пересекались в области, расположенной за мишенью (распадом объеме), и восстанавливалась общая вершина взаимодействия в области мишени.

Распады  $\phi \rightarrow K^+K^-$  искались в событиях с двумя заряженными частицами, исходящими из общей вершины и идентифицированными как кандидаты в  $K^+$ . При выделении  $K^+$  исключались однозначно идентифицированные  $\pi$  и  $p$ , а также неидентифицированные частицы, но не подавлялись примеси  $\pi$  и  $p$  в импульсных интервалах, где эти гипотезы неразличимы от каонной (соответственно  $2I+40$  ГэВ/с и  $3+1I$  ГэВ/с). В качестве кандидатов в распады  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  и  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  принимались  $\nu^0$  с эффективной массой в пределах  $\pm 6$  МэВ/с<sup>2</sup> и  $\pm 10$  МэВ/с<sup>2</sup> от табличного значения масс  $\Lambda$  и  $K^0$ , что соответствует 3-кратной величине разрешения по эффективной массе для этих распадов. При выделении нейтрон-протонных взаимодействий требовалось, чтобы поперечное отклонение вершины события от оси пучка не превышало 2,5 см (при радиусе мишени 3 см). Таким образом исключались из анализа взаимодействия на окружающих мишень конструктивных элементах. В дальнейшем осуществлялся анализ характеристик исследуемых процессов с участием  $\phi$ -мезонов. После каждого этапа обработки информация переписывалась на магнитные ленты следующего уровня.

Сигналы  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных (рис.3) и нейтрон-ядерных взаимодействиях (рис.4) были оценены путем аппроксимации узких пиков в спектрах эффективных масс  $K^+K^-$  суперпози-

цией резонансной функции Брейта-Вигнера с фиксированной табличной шириной  $4,4$  МэВ/с<sup>2</sup> и распределения Гаусса, характеризующего экспериментальное разрешение спектрометра.

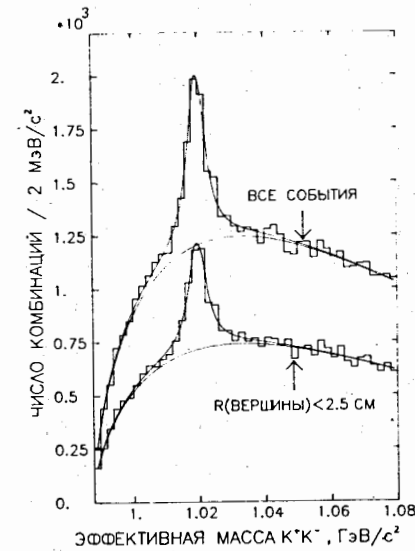


Рис.3 Спектры эффективных масс  $K^+K^-$  для всех событий на водородной мишени и для выделенных  $p$ -взаимодействий.

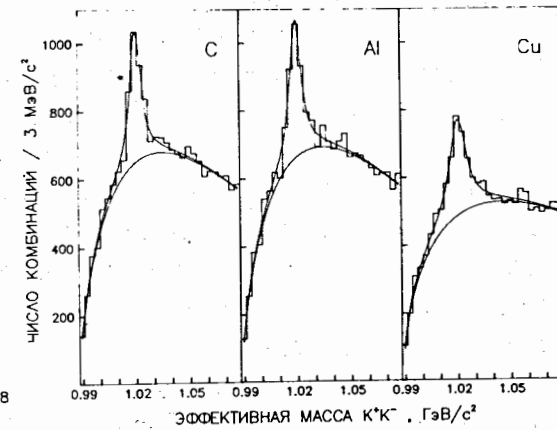


Рис.4 Спектры эффективных масс  $K^+K^-$  для событий на углеродной, алюминиевой и медной мишенях.

Количество выделенных  $\phi$ -мезонов, а также разрешение по эффективной массе, полученное в экспозициях с разными мишенями, приведены в таблице 2.

Таблица 2

| Мишень                              | H        | C       | Al      | Cu      |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|
| $\sigma(\phi)$ , МэВ/с <sup>2</sup> | 1,7±0,3  | 2,2±0,4 | 2,4±0,4 | 3,4±0,6 |
| Статистика $\phi$                   | 2100±120 | 1190±80 | 1320±85 | 1220±85 |

Для определения эффективности регистрации инклюзивных  $\phi$ -мезонов, а также ассоциативно рожденных с ними странных частиц, осуществлялось моделирование указанных процессов с помощью программы RSIMUL, которая позволяла разыгрывать кинематику исследуемого физического процесса и проводить частицы - продукты взаимодействия - через магнит и детекторы спектрометра БИС-2. В первом случае для правильного учета условий

запуска установки помимо  $\phi$ -мезонов генерировались также дополнительные заряженные частицы в соответствии с множественностью вторичных частиц в  $pp$ -взаимодействиях при близких энергиях. Импульсные спектры моделированных  $\phi$ -мезонов и дополнительных частиц подгонялись под экспериментальные спектры. Процессы ассоциативного образования  $\phi$ -мезонов и странных частиц, а также парного рождения  $\phi$ -мезонов, разыгрывались в соответствии с феноменологической LUND-моделью адрон-адронных взаимодействий при малых переданных импульсах. Моделированные частицы проводились через магнит и детекторы спектрометра с учетом кулоновского рассеяния и возможности их распада. Принимались во внимание эффективность и фоновые срабатывания пропорциональных камер, эффективность восстановления исследуемых событий программами геометрической реконструкции и статистического анализа, а также эффективность системы запуска спектрометра. В эксперименте регистрировались  $\phi$ -мезоны в кинематической области, ограниченной по поперечным и продольным импульсам:  $P_T < 1$  ГэВ/с и  $P_L > 8$  ГэВ/с. Нижний предел по  $P_L$  с учетом энергетического спектра нейтронного пучка соответствовал переменной Фейнмана  $x_F = 0,1$ . В данной кинематической области эффективность регистрации  $\phi$ -мезонов составила величину  $2,8 \cdot 10^{-3}$  с оцениваемой систематической погрешностью 20%. Эффективности регистрации систем частиц  $\phi$ ,  $\phi_S^0$ ,  $\phi_K^+$ ,  $\phi_K^-$ ,  $\phi$  составили соответственно 24%, 9%, 25%, 11% от эффективности регистрации инклюзивных  $\phi$ -мезонов.

В главе 4 исследуются характеристики инклюзивного образования  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных и нейтрон-ядерных взаимодействиях.

Для измерения импульсных спектров  $\phi$ -мезонов полученные данные были разделены на 7 интервалов по поперечной составляющей ( $P_T$ ) и 10 интервалов по продольной составляющей ( $P_L$ ) импульса. Количество  $\phi$ -мезонов в каждом интервале было определено из анализа соответствующих распределений по эффективным массам  $K^+K^-$ . Полученные таким образом импульсные спектры зарегистрированных  $\phi$ -мезонов были скорректированы на соответствующие дифференциальные эффективности их регистрации. На

рис.5 и 6 приведены измеренные и восстановленные спектры  $\phi$ -мезонов по  $P_T^2$  и  $P_L$  для нейтрон-протонных взаимодействий.

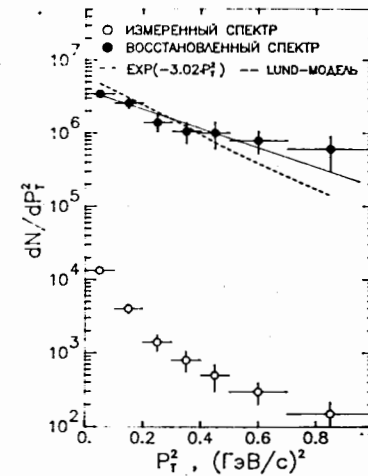


Рис.5 Спектры  $\phi$ -мезонов по  $P_T^2$ .

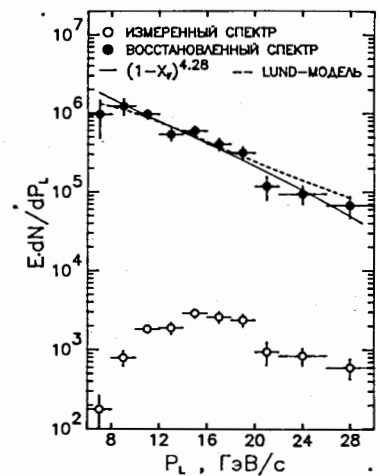


Рис.6 Инвариантные спектры  $\phi$ -мезонов по  $P_L$ .

Аппроксимация  $P_T$ -спектра функцией  $\exp(-B \cdot P_T)$  дает значение показателя  $B = 3,02 \pm 0,55$  (ГэВ/с) $^{-2}$ , что соответствует среднему значению  $\langle P_T \rangle = 0,51 \pm 0,05$  ГэВ/с. Инвариантный спектр по продольному импульсу хорошо описывается степенной зависимостью  $(1 - |x_F|)^N$  с показателем  $N = 4,28 \pm 0,42$ . Феноменологические модели адрон-адронных взаимодействий с малыми передачами импульсов LUND и FRITIOF достаточно хорошо описывают спектр по продольным импульсам  $\phi$ -мезонов, но предсказывают более крутой наклон  $P_T^2$ -спектра.

Сравнение полученных результатов с данными экспериментов, проведенных в протонных пучках различных энергий показывает, что параметры наклона  $P_T^2$ -спектров в нуклон-нуклонных взаимодействиях согласуются с величиной  $B \approx 3$  (ГэВ/с) $^{-2}$  независимо от энергии частицы пучка и укладываются в общую тенденцию роста средних поперечных импульсов с увеличением массы образованного адрона. Показатели наклона  $x_F$ -спектров соответствуют значениям  $N = 4 \pm 5$  в кинематической области  $x_F > 0,1 \pm 0,15$  и показывают доминирующую роль процессов центрального рождения  $\phi$ -мезонов нуклонами. Приведенные величины не противоречат

также предсказаниям правил кваркового счета для области фрагментации ( $N=5$ ).

Инклюзивное сечение образования  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных взаимодействиях было вычислено исходя из количества зарегистрированных  $\phi$ -мезонов, светимости эксперимента, эффективности регистрации и парциальной вероятности распада  $\phi \rightarrow K^+ K^-$ . В результате была получена величина  $53 \pm 9$  мкб в кинематической области регистрации  $\phi$ -мезонов в эксперименте:  $P_L > 8$  ГэВ/с и  $P_T < 1$  ГэВ/с. Для оценки возможных систематических ошибок сечение образования  $\phi$ -мезонов было определено независимым методом — путем нормировки на сечение образования  $\Lambda$ -гиперонов. Результаты обоих методов согласуются в пределах 30%, что служит оценкой суммарной систематической погрешности. Экстраполяция сечения в полную кинематическую область ( $-1 < x_F < 1$ ) была проведена в предположении, что полученная аппроксимация импульсных спектров действительна и вне кинематической области регистрации  $\phi$ -мезонов.

Результат экстраполяции:  $\sigma(\phi+X) = 220 \pm 40 \pm 70$  мкб, где первая из ошибок является статистической, а вторая — систематической. Этот результат согласуется с данными экспериментов, проведенных на протонных пучках в смежных областях энергий (рис.7). Из сравнения экспериментальных данных с предсказаниями феноменологических моделей, также приведенными на рис.7, видно, что LUND-модель не описывает энергетическую зависимость сечения вблизи порога реакции, тогда как для FRITIOF-модели наблюдается лучшее согласие с экспериментом.

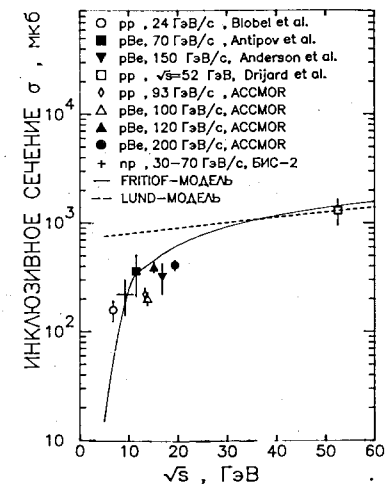


Рис.7 Инклюзивное сечение образования  $\phi$ -мезонов в нуклон-нуклонных реакциях.

Из анализа нейтрон-ядерных взаимодействий определена зависимость сечения образования  $\phi$ -мезонов от атомного номера

ядер мишени  $A$ . В результате анализа вычислены следующие отношения сечений образования  $\phi$ -мезонов:  $\sigma(A1)/\sigma(C) = 1,91 \pm 0,21$  и  $\sigma(Cu)/\sigma(C) = 3,85 \pm 0,40$  (систематические погрешности полученных отношений не превышают 3%). Степенная параметризация вида  $\sigma(A) = \sigma_0 \cdot A^\alpha$  при значении показателя  $\alpha = 0,81 \pm 0,06$  хорошо описывает зависимость сечения от величины  $A$  в кинематической области регистрируемых в эксперименте  $\phi$ -мезонов, характеризуемая средними значениями  $\langle x_F \rangle = 0,28$  и  $\langle P_T \rangle = 0,35$  ГэВ/с. Не обнаружено существенной зависимости величины  $\alpha$  от продольного и поперечного импульсов  $\phi$ -мезонов в пределах кинематической области их регистрации в эксперименте. В результате аппроксимации инвариантных спектров по продольному импульсу степенной функцией  $(1 - |x_F|)^N$  получены значения показателя  $N$ , равные  $4,39 \pm 0,37$  в  $nC$ -,  $4,14 \pm 0,40$  в  $nAl$ - и  $4,43 \pm 0,41$  в  $nCu$ - взаимодействиях, согласующиеся между собой в пределах ошибок измерений.

На рис.8 показана величина показателя  $\alpha$  в зависимости от среднего значения  $x_F$  зарегистрированных  $\phi$ -мезонов в экспериментах, проведенных в нейтронном и протонном пучках.

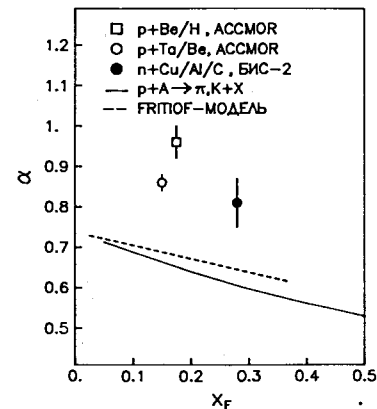


Рис.8 Показатель  $\alpha$  в зависимости от среднего значения  $x_F$  зарегистрированных  $\phi$ -мезонов.

Сплошной линией представлена параметризация параболической функцией значений  $\alpha$  для процессов образования  $\pi$  и  $K$ -мезонов на различных ядрах. Рисунок указывает на уменьшение  $\alpha$  с ростом  $x_F$  как для  $\phi$ -мезонов, так и для других частиц. Из сравнения сечения образования  $\phi$ -мезонов на водороде с результатом экстраполяции сечения на ядрах к  $A=1$  ( $\sigma_0$ ) следует соотношение:  $\sigma_0 > \sigma(A=1)$ .

Сопоставление результатов измерения  $\alpha$ , полученных для  $\phi$ -мезонов, с соответствующими данными для  $\pi, K$ -мезонов — с одной стороны, и  $J/\psi$  ( $\alpha = 0,94 \pm 0,96$ ) — с другой, указывает на

существенный рост величины  $\alpha$  с увеличением массы кварков, составляющих конечный адрон. Такую зависимость можно объяснить меньшим сечением взаимодействия с нуклонами ядра и большей длиной формирования адронов, состоящих из более тяжелых кварков. Предсказание феноменологической FRITIOF-модели адрон-ядерных взаимодействий с малыми передачами импульсов для  $\Lambda$ -зависимости сечения образования  $\phi$ -мезонов (пунктирная линия на рис.8) противоречит экспериментальным данным для  $\phi$ -мезонов и больше соответствует экспериментальным данным для  $\pi$  и  $K$ -мезонов.

В главе 5 проанализировано ассоциативное образование  $\phi$ -мезонов со странными частицами, а также парное рождение  $\phi$ -мезонов.

Исследовалось совместное рождение  $\phi$ -мезонов и нейтральных странных частиц  $\Lambda$  и  $K^0$ , выделяемых по их распадам  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  и  $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ , а также  $K^+$  и  $K^-$ , регистрируемых с помощью МПЧС-1,2. На рис.9 показаны доли событий, содержащих  $\Lambda$ ,  $K_S^0$ ,  $K^+$ ,  $K^-$

и ассоциативно рожденную пару  $K^+K^-$ , в зависимости от эффективной массы  $K^+K^-$ -пары. Во всех распределениях в области эффективной массы  $K^+K^-$ -пары, близкой к массе  $\phi$ -мезона, наблюдается обогащение странными частицами. Принимая во внимание уровень фона под сигналом  $\phi$ -мезонов получены следующие доли ассоциативного образования систем частиц:  $2,2 \pm 0,3\%$  для  $\phi\Lambda$ ,  $1,6 \pm 0,4\%$  для  $\phi K_S^0$ ,  $8,6 \pm 1,9\%$  для  $\phi K^+$ ,  $3,2 \pm 0,7\%$  для  $\phi K^-$ , что соответствует статистике  $144 \pm 19$   $\phi\Lambda$ ,  $104 \pm 20$   $\phi K_S^0$ ,  $570 \pm 120$   $\phi K^+$  и  $210 \pm 45$   $\phi K^-$  событий. Учет эффективностей регистрации данных процессов, а также парциальных вероятностей наблюдаемых распадов нейтральных

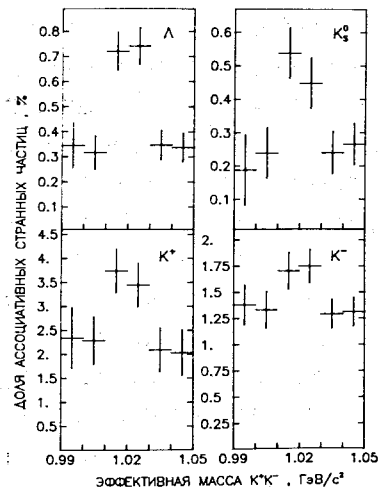


Рис.9 Доли событий с  $\Lambda$ ,  $K_S^0$ ,  $K^+$ ,  $K^-$  в зависимости от эффективной массы ассоциативной пары  $K^+K^-$ .

странных частиц, позволил вычислить вклады исследуемых процессов в инклюзивное сечение образования  $\phi$ -мезонов в кинематической области их регистрации  $P_T > 8$  ГэВ/с ( $x_F > 0,1$ ) и  $P_T < 1$  ГэВ/с:  $20 \pm 4\%$  для  $\phi\Lambda$ ,  $55 \pm 17\%$  для  $\phi K_S^0$ ,  $33 \pm 11\%$  для  $\phi K^+$ ,  $26 \pm 10\%$  для  $\phi K^-$ . Принимая во внимание двойной учет отдельных эксклюзивных каналов в сумме указанных величин, вычислен вклад ОЦМ-разрешенных процессов, равный  $67 \pm 12\%$ . Эта величина представляет собой нижний предел вклада таких процессов, так как недооценена доля реакций ассоциативного образования  $\phi$ -мезонов с  $\Sigma^+$  и антигиперонами.

Таким образом, можно сделать вывод, что при образовании  $\phi$ -мезонов нейтронами доминируют ОЦМ-разрешенные процессы слияния "морских" странных кварков. Указанная выше LUND-модель не учитывает данный эффект и предсказывает вклад таких процессов в соответствии с параметром подавления рождения "морских" странных кварков ( $\approx 25\%$ ). В FRITIOF-модели рассматриваются только ОЦМ-разрешенные реакции образования  $\phi$ -мезонов, что также не дает полного согласия с полученными экспериментальными данными, так как в модели предсказывается малый вклад ненаблюдаемых в эксперименте реакций.

Анализ двумерного распределения по эффективным массам двух пар  $K^+K^-$ , образованных в одном событии (рис.10),

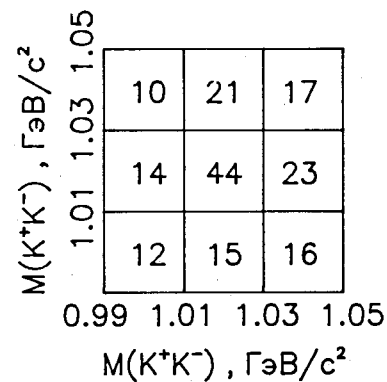


Рис.10 Двухмерное распределение по эффективным массам ассоциативных  $K^+K^-$ -пар.

позволил выделить  $21 \pm 8$  событий парного рождения  $\phi$ -мезонов над общим фоном событий с четырехкаонными состояниями. Нормируя на инклюзивное сечение образования  $\phi$ -мезонов и учитывая эффективность регистрации  $\phi\phi$ -пар в кинематической области  $P_T < 1$  ГэВ/с,  $P_T > 8$  ГэВ/с была получена величина сечения образования  $\phi\phi$ -пар в нейтрон-протонных взаимодействиях, равная  $0,85 \pm 0,50$  мкб. В результате экстраполяции в полную кинематическую область



$(-1 < x_F < 1)$  по аналогии с анализом инклюзивного образования  $\phi$ -мезонов получена оценка сечения рождения  $\phi\bar{\phi}$ -пар, равная  $15 \pm 9$  мкб. Эта величина соответствует вкладу  $7 \pm 4\%$  процессов рождения  $\phi\bar{\phi}$ -пар в реакции инклюзивного образования  $\phi$ -мезонов. С учетом полученной оценки вклада процессов совместного рождения  $\phi$ -мезонов и  $K^+K^-$ -пар ( $10 \pm 20\%$ ) и данных по образованию пар  $\phi$ -мезонов в каонном пучке следует, что наблюдаемое образование  $\phi\bar{\phi}$ -пар нейтронами не подавлено по отношению к ОЦМ-разрешенным реакциям.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Впервые получены данные о характеристиках инклюзивного образования  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных взаимодействиях:

а) в кинематической области, ограниченной поперечным и продольным импульсами  $P_T < 1$  ГэВ/с,  $P_L > 8$  ГэВ/с (переменная Фейнмана  $x_F > 0,1$ ) измерено дифференциальное инвариантное сечение рождения  $\phi$ -мезонов нейтронами 30–70 ГэВ. Оно хорошо описывается зависимостью  $E \cdot d^3\sigma/dP^3 \propto \exp(-B \cdot P_T^2) \cdot (1 - |x_F|)^N$  при значениях параметров  $B = 3,02 \pm 0,55$  (ГэВ/с) $^{-2}$  и  $N = 4,28 \pm 0,42$ . Полученные результаты указывают на доминирующее центральное образование  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных взаимодействиях;

б) модельно-независимым образом измерено сечение образования  $\phi$ -мезонов нейтронами 30–70 ГэВ в кинематической области  $P_T < 1$  ГэВ/с,  $P_L > 8$  ГэВ/с:  $\sigma(\phi+X) = 53 \pm 9$  мкб;

в) модельным образом оценено инклюзивное сечение образования  $\phi$ -мезонов нейтронами 30–70 ГэВ (средняя энергия в СЦМ  $\approx 9$  ГэВ) в области  $-1 < x_F < 1$ :  $\sigma(\phi+X) = 220 \pm 40 \pm 70$  мкб. Полученное инклюзивное сечение хорошо согласуется с экспериментальными данными по образованию  $\phi$ -мезонов протонами в смежных областях энергий.

2. Впервые исследована зависимость сечения образования  $\phi$ -мезонов в нейтрон-ядерных взаимодействиях от атомного веса ядер мишени А:

а) в экспериментально наблюдаемой кинематической области, при средних значениях  $\langle x_F \rangle = 0,28$  и  $\langle P_T \rangle = 0,35$  ГэВ/с, эта зависимость хорошо описывается степенным законом  $\sigma(A) = \sigma_0 \cdot A^\alpha$  со значением показателя  $\alpha = 0,81 \pm 0,06$ ;

б) проведено сравнение полученного результата с характеристиками адронного рождения на ядрах  $\pi$ , К и J/ $\Psi$ , из которого следует указание о большой "прозрачности" ядер (меньшем сечении взаимодействия) для адронов, состоящих из более тяжелых кварков;

в) на основании анализа полученных данных и данных по образованию  $\phi$ -мезонов в ра-взаимодействиях получено, что величина параметра  $\alpha$ , показателя степени А-зависимости сечения, растет с уменьшением величины  $x_F$ , характеризующей кинематическую область регистрируемых  $\phi$ -мезонов.

3. Впервые в нейтронном пучке измерены характеристики ассоциативного образования  $\phi$ -мезонов с частицами, содержащими странные кварки:

а) получена оценка вклада ОЦМ-разрешенного процесса слияния "морских" странных кварков в реакции инклюзивного образования  $\phi$ -мезонов в кинематической области  $P_T < 1$  ГэВ/с,  $P_L > 8$  ГэВ/с ( $x_F > 0,1$ ). Измеренная доля сечения такого процесса:  $\sigma(\phi+s\bar{s}+X)/\sigma(\phi+X) = 0,67 \pm 0,12$  указывает на его доминирующую роль в реакциях образования  $\phi$ -мезонов;

б) наблюдается парное образование  $\phi$ -мезонов и измерено сечение в кинематической области  $P_T < 1$  ГэВ/с,  $P_L > 8$  ГэВ/с:  $\sigma(\phi\bar{\phi}+X) = 0,85 \pm 0,50$  мкб. Модельным образом получена оценка сечения в кинематической области  $-1 < x_F < 1$ :  $\sigma(\phi\bar{\phi}+X) = 15 \pm 10$  мкб, которая соответствует вкладу процессов рождения  $\phi\bar{\phi}$ -пар в реакции инклюзивного образования  $\phi$ -мезонов, равному  $0,07 \pm 0,04$ , и указывает на отсутствие заметного эффекта подавления рождения инклюзивных  $\phi\bar{\phi}$ -пар нейтронами по отношению к ОЦМ-разрешенным реакциям.

4. В результате проведенного анализа решены следующие задачи, имеющие методическое значение:

а) разработана и внедрена новая методика идентификации заряженных адронов с помощью системы из двух многоканальных

пороговых газовых черенковских счетчиков, показана ее высокая эффективность при анализе наблюдаемых многочастичных событий;

б) создан комплекс математических программ, позволяющий применять разработанную методику идентификации заряженных адронов на этапе статистического анализа экспериментальной информации. Реализованный программно алгоритм идентификации широко используется сотрудничеством по экспериментам на установке БИС-2.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Алеев А.Н.,...,Капишин М.Н. и др., Инклюзивное рождение  $\phi$ -мезонов в нейтрон-протонных взаимодействиях при 30-70 ГэВ; ОИЯИ, ДИ-89-345, Дубна, 1989; Czech.J.Phys.,1990, v.B40, p.1216.

2. Алеев А.Н.,...,Капишин М.Н. и др., А-зависимость сечения рождения  $\phi$ -мезонов в нейтрон-ядерных взаимодействиях при 30-70 ГэВ; ОИЯИ, ДИ-90-168, Дубна, 1990;

3. Aleev A.N.,...,Kapishin M.N. et al.,  $\phi$ -meson production in neutron-nucleus interactions at 30-70 GeV; JINR, E1-90-316, Dubna, 1990.

4. Aleev A.N.,...,Kapishin M.N. et al., Associated production of  $\phi$ -mesons and strange particles and double  $\phi$ -meson production; PHE 91-02, Zeuthen, 1991.

5. Гуськов Б.Н.,...,Капишин М.Н. и др., Многоканальный пороговый газовый черенковский счетчик, расположенный в спектрометрическом магните установки БИС-2; ОИЯИ, ИЗ-84-373, Дубна, 1984; ПТЭ, 1985, т.5, с.49.

6. Войчишин М.Н.,...,Капишин М.Н. и др., Черенковский пороговый 14-канальный счетчик; ОИЯИ, ИЗ-84-161, Дубна, 1984; ПТЭ, 1985, т.3, с.71.

7. Гуськов Б.Н.,...,Капишин М.Н. и др., Идентификация заряженных адронов в спектрометре БИС-2; ОИЯИ, РИ-86-248, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел

8 апреля 1991 года.