

На правах рукописи

Г-147

1-91-121

ГАЙСАК

Иван Иванович

УДК 539.172.128.5 +
539.126.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ПИОНОВ В pN- И pA-СОУДАРЕНИЯХ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 240-500 МэВ

Специальность: 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

К. О. Оганесян

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

В. Г. Вовченко

доктор физико-математических наук

Р. А. Эрамбян

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Московский инженерно-физический институт, г. Москва.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1991 г.

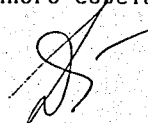
в _____ часов на заседании специализированного совета
Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1991 г.

Ученый секретарь специализированного совета

доктор физико-математических наук



Ю. А. Батуров

Актуальность. Процесс образования пионов является прекрасным полигоном как для испытания теории многих тел, так и для получения важной информации о некоторых свойствах фундаментальных взаимодействий между частицами, которые не проявляются в двухтельной системе: NNπ система чувствительна к выбору пион-нуклонного формфактора, содержит информацию о πN-рассеянии, когда пион находится вне массовой поверхности.

Для полного описания амплитуды NN-рассеяния требуется знание и упругого, и неупругих каналов. Процесс NN→NNπ представляет основную неупругость в нуклон-нуклонном рассеянии вплоть до энергии 1 ГэВ. Наличие этого неупругого канала обуславливает тот факт, что нуклон-нуклонные фазовые сдвиги становятся комплексными для энергий выше порога пионообразования.

В последние годы нуклон-нуклонные и нуклон-ядерные взаимодействия в области промежуточных энергий стали объектом пристального внимания, обусловленного попытками обнаружить существование аномалий типа дибарионных резонансов, являющихся отражением кварковой структуры элементарных частиц. Поиски новых степеней свободы и соотношение нуклон-мезонных с кварк-глюонными степенями свободы в ядрах - один из наиболее важных и фундаментальных вопросов современной физики. Экспериментальное наблюдение дибарионов (шестикваркового состояния) может стать наиболее ярким проявлением кварковых степеней свободы.

Многочисленные теоретические исследования указывают, что если дибарионные состояния существуют, то они наиболее сильно связаны с каналом NNπ. Причем, в нуклон-ядерных соударениях ядро может выступать в качестве своеобразного фильтра, выделяющего определенные особенности нуклон-нуклонного взаимодействия.

При анализе экспериментальных данных почти всегда требуется резонансную амплитуду выделять на фоне нерезонансной части. Наиболее часто для этого используют

реалистичные модели фонового процесса. При поиске резонансных структур в процессах $NN \rightarrow NN\pi$ фоновую часть амплитуды можно вычислять по модели однопионного обмена (ОРЕМ).

Цель работы: 1. Измерение дифференциальных сечений образования заряженных пионов в протон-ядерных соударениях для ядер углерода и меди при энергиях 240–500 МэВ, поиск нерегулярностей в энергетической зависимости выхода пионов.

2. Создание уточненной модели однопионного обмена для расчета конечных спектров частиц реакции $NN \rightarrow NN\pi$, исследование степени согласия модели с экспериментом, определение области применимости модели.

3. Исследование вклада квазисвободного процесса $NN \rightarrow NN\pi$ в сечение рождения пионов в протон-ядерных соударениях.

Научная новизна. Впервые измерены дифференциальные сечения образования заряженных пионов в протон-ядерных соударениях при энергии падающих протонов 240 МэВ под углами 60° , 90° и 120° на ядрах углерода и меди. Измерена энергетическая зависимость выхода заряженных пионов под углом 90° для ядра меди в диапазоне 240–500 МэВ.

Для процесса $NN \rightarrow NN\pi$ разработана модель однопионного обмена с учетом интерференций всех диаграмм модели и вкладом s - и p -волн подпроцесса πN -рассеяния. Проведены систематические сравнения расчетов с имеющимися экспериментальными данными процесса $pp \rightarrow p\pi^+$ для спектров пионов, и с результатами первых эксклюзивных измерений, которые позволили протестировать разработанную модель на уровне матричного элемента реакции. Определена степень чувствительности модели к входным данным: форме пион-нуклонного формфактора, поправке на сход с массовой поверхности для подпроцесса πN -рассеяния, точности учета парциальной структуры амплитуды πN -взаимодействия. Проведенное сравнение модели с экспериментальными данными в широкой области энергий (400–1000 МэВ) позволило выделить функцию пион-нуклонного формфактора.

С применением разработанной модели в импульсном приближении выполнены расчеты спектров пионов, измеренных в данной работе для ядер углерода и меди.

Практическая ценность. Пакет программ ОРЕМ, созданный для расчета спектров частиц реакции $NN \rightarrow NN\pi$, был использован при анализе экспериментальных данных процесса $pp \rightarrow p\pi^0$ (ЛИЯФ, 1988 г.), при расчете фона в поисках стабильного N -дибариона (ЛВЭ ОИЯИ, 1989 г.). Данный пакет также может найти применение при планировании экспериментов в физике промежуточных энергий и при исследовании процесса, обратного пионообразованию, - поглощения пиона парой нуклонов ядра.

Разработано математическое обеспечение для идентификации и спектрометрии заряженных частиц с использованием многомерного анализа экспериментальных данных, содержащих информацию о E , ΔE и Δt .

Измеренные выходы пионов при энергии 240 МэВ на ядрах углерода и меди позволяют определить возможные интенсивности низкоэнергетических пучков пионов и их спектральный состав при использовании для генерации пионов сильноточных ускорителей с более низкими энергиями, чем работающие сейчас мезонные фабрики.

Автор защищает. 1. Результаты экспериментального исследования образования заряженных пионов на ядрах углерода и меди при энергии падающих протонов 240 МэВ под углами 60° , 90° и 120° .

2. Результаты экспериментального исследования энергетической зависимости выхода заряженных пионов под углом 90° для ядра меди в диапазоне энергий падающих протонов 240–500 МэВ.

3. Разработку модели однопионного обмена процесса $NN \rightarrow NN\pi$. Результаты исследования по описанию экспериментальных данных процесса $pp \rightarrow p\pi^+$.

4. Результаты исследования в импульсном приближении образования пионов в протон-ядерных соударениях.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы докладывались на научно-методических и научных семинарах ЛЯП и ЛТФ ОИЯИ, на сессии отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1983 г.), на 2-м симпозиуме по нуклон-нуклонным и адрон-ядерным взаимодействиям при промежуточных энергиях (Гатчина, 1984 г.), на всесоюзном совещании по физической программе Московской мезонной фабрики (Звенигород, 1985 г.), международном совещании по теориям

малочастичных и кварк-адронных систем (Дубна, 1987 г.), на 3-м международном симпозиуме по пион-нуклонным и нуклон-нуклонным взаимодействиям (Гатчина, 1989 г.), международном семинаре по физике промежуточных энергий (Москва, 1989 г.), международной конференции PANIC-XII (Кембридж, США, 1990 г.) и опубликованы в сообщениях и препринтах ОИЯИ, в трудах конференций и журнальных статьях. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в четырнадцати работах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения; содержит 99 страниц, 24 рисунков, 10 таблиц и библиографический список из 106 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность проблемы, приведены краткие обзоры теоретических моделей описания процесса образования пионов в нуклон-нуклонных соударениях и экспериментальной ситуации в исследовании образования пионов в нуклон-ядерных соударениях в области промежуточных энергий. Сформулирована цель настоящего исследования.

Первая глава содержит описание модели однопионного обмена (ОРЕМ) для процесса $NN \rightarrow NN\pi$.

Основная идея ОРЕМ состоит в предположении, что реакциям столкновения $NN \rightarrow NN\pi$ при энергиях до 3 ГэВ соответствуют полюсные фейнмановские диаграммы с пионом в качестве промежуточной частицы. Полный матричный элемент M реакции представляется следующей алгебраической суммой матричных элементов отдельных диаграмм (рис. 1):

$$M = M_1 - M_2 - M_3 + M_4,$$

где знаки обусловлены принципом Паули с учетом изотопической инвариантности сильных взаимодействий. В матричном элементе отдельной диаграммы с индексом i выделяются три множителя, отвечающие амплитуде виртуального πN -рассеяния, вершинной функции $NN\pi$ и пропагатору обменного пиона:

$$M_i \sim \mathcal{T}(z_1, y_1^2; K_1^2) \cdot G(K_1^2) \cdot \frac{1}{K_1^2 + \mu^2},$$

где z_1 - полная энергия πN -системы, y_1^2 - квадрат переданного 4-импульса в виртуальном πN -рассеянии, K_1^2 - квадрат 4-импульса виртуального пиона, μ - масса пиона.

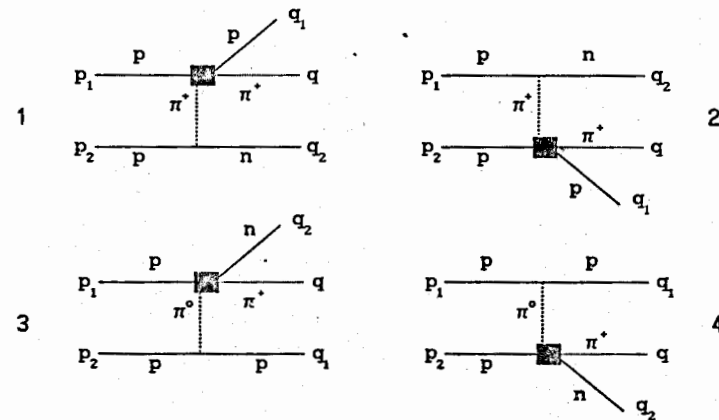


Рис. 1. Полюсные фейнмановские диаграммы, сопоставляемые реакции $pp \rightarrow pp\pi^+$ в рамках ОРЕМ.

Вершинная функция $NN\pi$, или пион-нуклонный формфактор, остается неопределенной в рамках ОРЕМ. Вид $G(K_1^2)$ может быть установлен сравнением с экспериментом при некоторой фиксированной энергии, поскольку в случае доминирующей роли однопионного обмена формфактор должен зависеть только от переданного импульса и не зависеть от начальной энергии. Наиболее часто используется дипольная форма формфактора.

По аналогии с амплитудой физического πN -рассеяния $\mathcal{T}_1 = A_1 + \hat{Q}B_1$, инвариантные амплитуды A_1 и B_1 записываются через спиральные амплитуды f_1 и f_2 , а спиральные амплитуды - через парциальные. Поправки на виртуальность вводятся на уровне парциальных волн. В предположении доминирующей роли 33-резонанса в πN -рассеянии, выражение для парциальной немассовой амплитуды $f_{33}(z_1; K_1^2)$ берется в виде

$$f_{33}(z_1; K_1^2) = \frac{f_{33}^B(z_1; K_1^2)}{f_{33}^B(z_1; -\mu^2)} \cdot f_{33}(z_1; -\mu^2) = \Gamma(K_1^2) \cdot f_{33}(z_1; -\mu^2),$$

где f_{33}^B - борновский член, и $\Gamma(K_1^2)$ - поправочный множитель на сход с массовой поверхности. Физическую парциальную амплитуду πN -рассеяния $f_{33}(z_1; -\mu^2)$ можно задать или в брейтвигнеровской форме, или непосредственно использовать экспериментальные значения парциальных амплитуд.

Общий результат сравнения имеющихся данных для ${}^3\sigma_{\pi}$ реакции $pp \rightarrow p\pi^+$ при энергиях $T=585, 660, 730, 800$ (рис. 2), 991 и 1000 МэВ свидетельствует о согласии в пределах 10-15% описываемого варианта ОРЕМ с экспериментом при параметре вершинной функции $A=9$, т.е. выделенный пион-нуклонный формфактор имеет вид

$$G(K^2) = \frac{9\mu^2}{K^2 + 10\mu^2}.$$

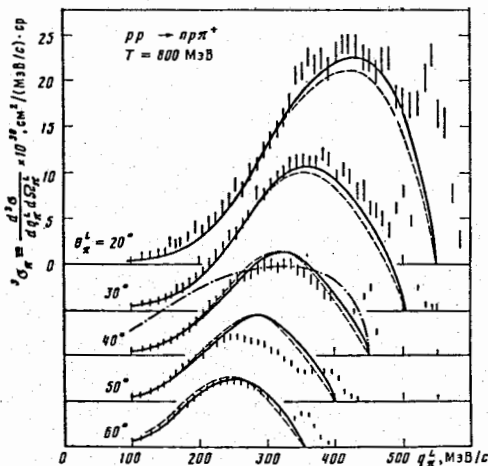


Рис. 2. Сравнение расчета спектров пионов по ОРЕМ с экспериментом Sverna F.N. et al. (1981). Сплошные кривые - полный вклад от диаграмм ОРЕМ, штриховые - исключены интерференции диаграмм 1, 3 и 2, 4 (ранее не учитывались), штрихпунктир - фазовый объем.

Расчеты показали, что вклад ранее не учитывавшейся интерференции зависит от начальной энергии T и угла вылета пионов θ_{π} , причем в передней полусфере с уменьшением значений этих величин вклад данного интерференционного члена возрастает и при $T=670$ МэВ под $\theta_{\pi}=20^\circ$ достигает 12%.

Сравнение модели с первыми экспериментальными данными 5-порядка дифференциальности, соответствующими непосредствен-

но квадрату матричного элемента процесса $pp \rightarrow p\pi^+$, показывает (рис. 3) хорошее описание с тем же формфактором, что и данные 3-порядка дифференциальности. Отмечено, что имеет место сильная чувствительность процесса от величин углов совпадения.

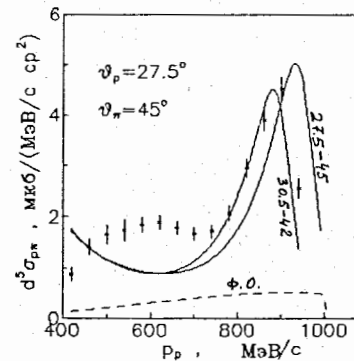


Рис. 3. Сравнение экспериментальных импульсных спектров протонов (средний угол $27,5^\circ$) в совпадении с пионом (средний угол 45°) для реакции $pp \rightarrow p\pi^+$ при $T=800$ МэВ (Hancock A.D. et al. (1983)) с расчетом. Сплошные кривые - расчет для пар углов в интервале экспериментального углового разрешения $\pm 3^\circ$, пунктир - фазовый объем для средних углов.

Показано, что выделение пион-нуклонного формфактора $G(K^2)$ возможно только при условии, если известна поправка $\Gamma(K^2)$, учитывающая сход с массовой поверхности амплитуды виртуального πN -рассеяния. Действительно, из экспериментальных данных для реакций $NN \rightarrow NN\pi$, при условии применимости ОРЕМ, извлекается единая функция вида

$$\mathcal{L}(K^2) = \Gamma(K^2) G(K^2),$$

зависящая только от передаваемого импульса K^2 и не зависящая от начальной энергии. Особенность состоит в том, что именно для 33-резонансной амплитуды πN -рассеяния поправка $\Gamma(K^2)$ может быть определена из дисперсионных соотношений с точностью $\approx 10\%$. Для реакции $pp \rightarrow p\pi^+$ приближение учета только вклада 33-амплитуды обеспечивает точность $\approx 1\%$, что и позволяет провести полный анализ экспериментальных данных всех порядков дифференциальности, и выделить пион-нуклонный формфактор.

Во второй главе описана установка для исследования взаимодействий протонов промежуточных энергий с ядрами.

Для регистрации вторичных частиц были использованы сцинтилляционный время-пролетный спектрометр и спектрометр

полного поглощения. Схема эксперимента представлена на рис. 4. Выведенный пучок протонов синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ с энергией 650 МэВ замедлялся с помощью углеродных фильтров, далее проходил через отклоняющий магнит, стальной коллиматор, через фокусирующие линзы и падал на мишень.

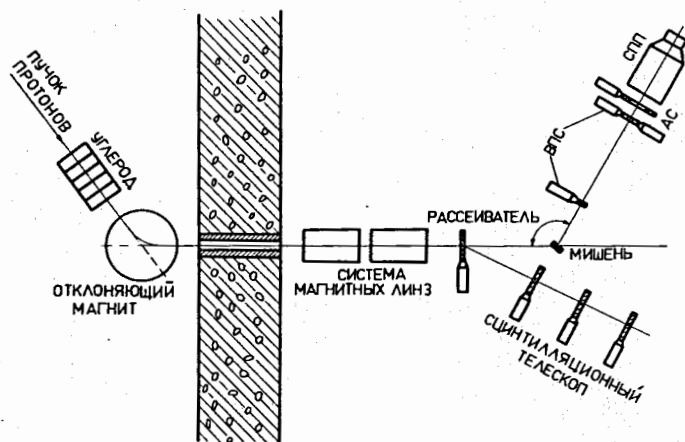


Рис. 4. Схема экспериментальной установки.

Требуемая энергия падающих протонов устанавливалась с помощью подбора толщины углеродных фильтров. Среднее значение и разброс энергий протонов определялись путем измерения пробной кривой сцинтилляционным телескопом. При средней энергии протонов 237 МэВ полная ширина спектра на полувысоте составляла 12 МэВ.

Для измерения абсолютного числа падающих на мишень протонов использовался метод измерения рассеянного пучка с помощью сцинтилляционного телескопа (рис. 4). Было установлено экспериментально, что при заданных энергиях протонов, типе мишени и угле рассеяния коэффициент пересчета, связывающий число падающих и рассеянных протонов, не зависит от интенсивности прямого пучка.

Для определения коэффициента пересчета были использованы три способа: метод мониторинга прямого пучка при пониженных интенсивностях, активационный анализ и метод измерения числа треков от осколков деления при взаимодействии

пучковых протонов со свинцовой мишенью.

Ошибки в определении коэффициента пересчета каждым из указанных методов оценивались в 10%. Для получения абсолютного числа протонов, падающих на мишень в рабочих измерениях, значения коэффициента пересчета, полученные тремя способами, усреднялись.

Интенсивность протонного пучка на мишени в рабочих измерениях составляла $\approx 3 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$. Измерения проводились для мишеней размером 3x3 мм из меди и углерода толщиной 1,73 и 1,64 г/см², соответственно.

Сигналы от всех детекторов поступали на блоки регистрирующей электроники и далее на ЭВМ HP-2116С и записывались на магнитную ленту. Двумерные распределения "время пролета-энергия" отображались на экране дисплея для предварительной обработки информации и выбора режимов работы спектрометрических трактов.

Проекция на оси времени и энергии областей двумерных распределений, соответствующих пионам, дают время-пролетные и энергетические спектры пионов. Из обеих проекций можно восстановить энергетическое распределение пионов, образованных в мишени. Сравнение результатов восстановленных обоими способами распределений является дополнительным критерием корректности калибровки и всей методики в целом.

В качестве контрольных измерений и для проверки возможностей методики были проведены измерения выходов пионов и протонов под углом 120° из медной мишени при энергии падающих протонов 620 МэВ с абсолютной точностью $\approx 15\%$. Полученное значение дифференциального сечения выхода протонов с энергиями выше 70 МэВ $d\sigma/d\Omega = 3,7 \text{ мбн/ср}$ близко к литературным данным.

В третьей главе приведены описание методики обработки экспериментальной информации и полученные экспериментальные данные.

Анализ двумерных распределений E-t позволяет достаточно надежно проводить идентификацию частиц. На рис. 5 показан пример двумерного распределения "полная энергия"- "время пролета". Видны хорошо разделяющиеся области, соответствующие пионам, протонам и дейтронам.

При расчете аксептанса установки и эффективности регистрации пионов учитывались: а) распад пиона на лету и при остановке; б) многократное рассеяние в мишени и детекторах; в) ядерное взаимодействие в мишени и детекторах. На рис. 6 приведены расчетные значения эффективности регистрации пионов. Точками с ошибками на рисунке отмечены результаты моделирования, а кривая - результат фита. При энергиях пионов больше 100 МэВ эффективность приближается к значению геометрического аксептанса установки (2,3 мср).

При восстановлении энергетических спектров пионов в мишени учитывались потери энергии в мишени, воздухе и счетчиках, вводились поправки на распад и многократное рассеяние. Учитывалось также постоянное энерговыделение, вносимое мюоном от распада пиона. Проведена оценка влияния на форму энергетических спектров пионов и на величину дифференциальных сечений следующих физических процессов:

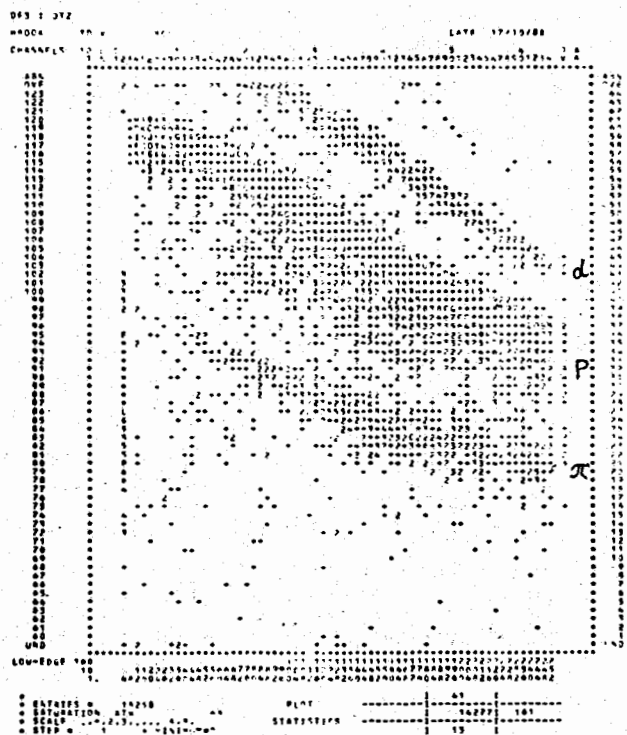


Рис. 5. Пример двумерного распределения событий (E, t).

- а) неупругого взаимодействия пионов и протонов в детекторах; б) последовательного $\pi^+ \mu^+ e^-$ -распада; в) генерации π^- -мезонов.

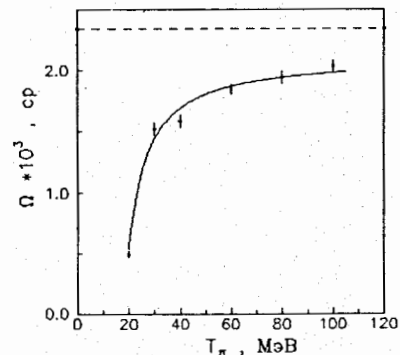


Рис. 6. Эффективный телесный угол установки. Пунктир-величина геометрического телесного угла.

Результаты измерений поправлены на фон, который измерялся без мишени. Он составлял $\approx 3\%$ эффекта от углерода и $\approx 1\%$ эффекта от меди и связан с пионами, образованными в объеме воздуха, просматриваемом детектирующей системой.

Приведены измеренные спектры заряженных пионов при энергии падающих протонов 240 МэВ для ядер углерода и меди под углами 60, 90 и 120°, энергетическая зависимость выхода пионов для ядра меди под углом 90° при энергиях падающих протонов в области 240-500 МэВ с шагом 25 МэВ, угловое распределение пионов для углерода и меди при энергии протонов 240 МэВ.

Четвертая глава содержит обсуждение экспериментальных результатов и сравнение их с результатами других экспериментов, выполненных позже, и с модельными расчетами.

Полученные сечения рождения пионов на ядрах и инклюзивные спектры пионов низких энергий представляют собой первые экспериментальные данные при энергиях протонов ниже 350 МэВ. Обращает на себя внимание сильная энергетическая зависимость выхода пионов при энергиях падающих протонов до 300 МэВ (рис. 7), которую следует учитывать при проектировании экономичных сильноточных ускорителей для практического использования пионных пучков. Сравнение с данными о рождении π^+ -мезонов при энергии 585 МэВ показывает, что дифференциальное сечение при энергии 250 МэВ меньше примерно в 80 раз. Величина двойного дифференциального сечения пионов энергии

30-40 МэВ составляет около 5% сечения при энергиях протонов в области 600 МэВ.

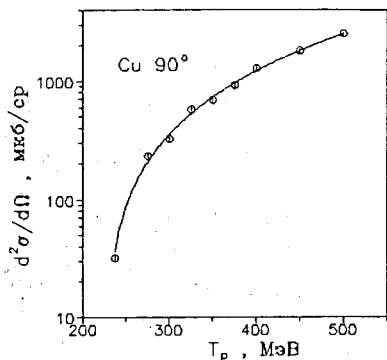


Рис. 7. Энергетическая зависимость выхода пионов на меди под углом 90° . Кривая проведена по точкам.

Проведено сравнение дифференциальных спектров пионов при энергии падающих протонов 240 МэВ с расчетами по модели импульсного приближения с искаженными волнами. Учитывалось искажение волновых функций от протон-ядерного и пион-ядерного оптических потенциалов, амплитуда рождения пионов на ядре выражалась в импульсном приближении через T-матрицы на массовой поверхности для вакуумных подпроцессов $pN \rightarrow nN\pi^+$ и $pp \rightarrow d\pi^+$. Элементы T-матрицы реакций считались постоянными (что в околороговой области вполне оправдано) и были найдены путем обработки экспериментальных данных.

Получено качественное согласие результатов расчета с экспериментальными данными при углах 60° и 90° для двух элементов. При угле 120° имеется расхождение, которое, по-видимому, можно объяснить как неучтенными корреляциями нуклонов в ядре, так и приближенностью используемой модели.

Во втором варианте расчетов инклюзивных спектров пионов учтен только вклад от квазисвободного подпроцесса $pN \rightarrow nN\pi^+$ с применением модели ОРЕМ. Получено качественное согласие расчетных спектров с экспериментальными данными (рис. 8).

В целом, полученные результаты указывают на то, что инклюзивные сечения образования пионов на ядрах при энергиях протонов ниже порога рождения на свободном нуклоне могут быть удовлетворительно описаны в рамках простой модели импульсного распределения нуклонов в ядре.

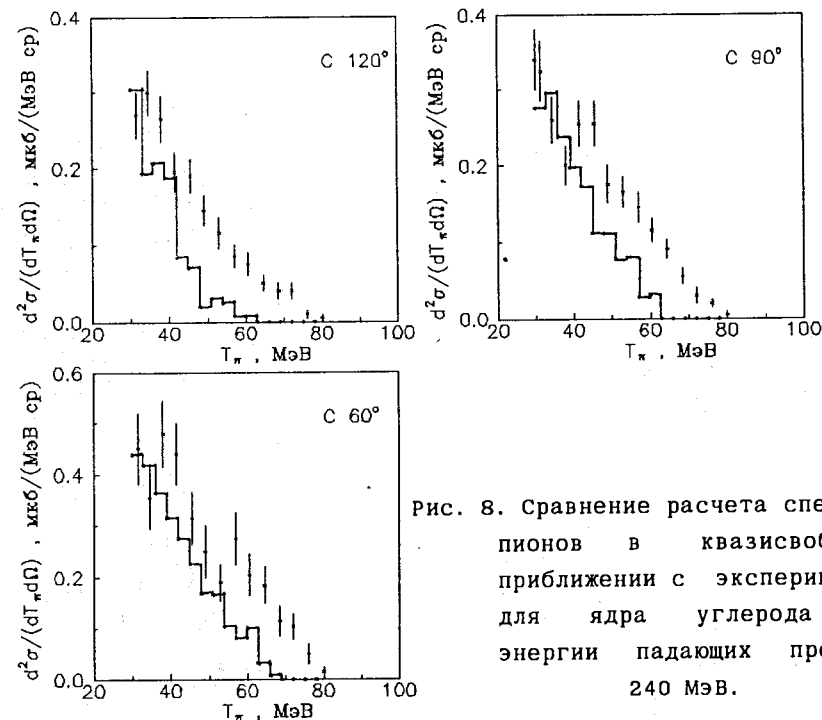


Рис. 8. Сравнение расчета спектров пионов в квазисвободном приближении с экспериментом для ядра углерода при энергии падающих протонов 240 МэВ.

В заключении изложены основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Впервые измерены двойные дифференциальные сечения образования заряженных пионов в соударениях протонов с ядрами углерода и меди под углами 60° , 90° и 120° при энергии 240 МэВ.
2. Измерена энергетическая зависимость выхода заряженных пионов под углом 90° в протон-ядерных соударениях для ядра меди при девяти энергиях в области 240-500 МэВ с шагом 25-50 МэВ.
3. Усовершенствована модель однопионного обмена для процесса $NN \rightarrow nN\pi$ с учетом всех интерференционных вкладов. На ее основе создан пакет программ для расчета матричного элемента и дифференциальных сечений. Проведено детальное сравнение с имеющимися экспериментальными данными, что позволило определить область применения модели и выделить

функцию пион-нуклонного формфактора. Показано, что при проведении совпадательных экспериментов требуется обеспечивать высокое угловое разрешение.

4. Экспериментальные результаты образования пионов протонами на ядрах углерода и меди при энергии 240 МэВ, т.е. ниже порога образования на свободном нуклоне, удовлетворительно описываются расчетами на основе импульсного приближения с искаженными волнами и в квазисвободном приближении с применением разработанной модели ОРЕМ.

5. Создано математическое обеспечение анализа многомерных данных.

В приложение вынесены некоторые формулы, полезные при вычислении матричного элемента для случая точного учета масс протона и нейтрона в реакциях NN-NN π .

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Акимов Ю.К., Гайсак И.И., Губер Ф.Ф., Краснов В.А., Курепин А.Б., Мерзляков С.И., Оганесян К.О., Пасюк Е.А., Пороховой С.Ю., Решетин А.И. Рождение π^+ -мезонов в соударениях протонов низких энергий с ядрами углерода и меди. - Препринт ОИЯИ 1-80-294, Дубна, ОИЯИ, 1980; ЯФ, 1981, т.33, в.1, с.33.
2. Губер Ф.Ф., Казарновский М.В., Краснов В.А., Курепин А.Б., Назарук В.И., Решетин А.И., Акимов Ю.К., Гайсак И.И., Мерзляков С.И., Оганесян К.О., Пасюк Е.А., Пороховой С.Ю. Инклюзивное рождение пионов протонами на ядрах при низких энергиях. - Письма в ЖЭТФ, 1980, т.31, в.11, с.696.
3. Гайсак И.И., Оганесян К.О. Об интегральном методе измерения угловых распределений. - Сообщения ОИЯИ 13-12004, Дубна, ОИЯИ, 1978.
4. Гайсак И.И., Оганесян К.О., Пасюк Е.А., Пороховой С.Ю. О резонансной структуре в реакции $p+Cu \rightarrow \pi^+ + X$ при $T_p \approx 350$ МэВ. - В сб.: Краткие сообщ. ОИЯИ №8-85, Дубна, ОИЯИ, 1985, с.38.
5. Гайсак И.И., Пасюк Е.А. Изучение аномального рождения пионов в реакции $Cu(p, \pi^+)X$ при энергии 350 МэВ. - В сб.: Труды 2-го семинара молодых ученых ОИЯИ, P15-85-862; Дубна, ОИЯИ, 1985, с.31.

6. Акимов Ю.К., Гайсак И.И., Госткин М.И., Гуров Ю.Б., Мерзляков С.И., Молоканов А.Г., Оганесян К.О., Пасюк Е.А., Пороховой С.Ю. Установка для исследования взаимодействий протонов промежуточных энергий с ядрами. - Сообщения ОИЯИ 13-89-93, Дубна, ОИЯИ, 1989.
7. Akimov Yu.K., Gostkin M.I., Haysak I.I., Merzlyakov S.I., Molokanov A.G., Oganesyanyan K.O., Pasyuk E.A., Porokhovoy S.Yu. Investigation of anomalous pion productions in reaction $Cu(p, \pi^+)X$ by 350 MeV protons. - In: JINR Rapid Comm. №2-89, Dubna, JINR, 1989, p.11.
8. Akimov Yu.K., Do Hoang Cuong, Gostkin M.I., Haysak I.I., Merzlyakov S.I., Molokanov A.G., Oganesyanyan K.O., Pasyuk E.A., Porokhovoy S.Yu., Kruglov S.P., Strakovsky I.I. Anomaly search in pion production and absorption in $\sqrt{s} = 2.0-2.2$ GeV region. - In: "πN and NN Physics. Proc. III Inter. Symp., Gatchina, April 17-22, 1989", Leningrad, 1989, v.2, p.186.
9. Сусленко В.К., Гайсак И.И. ОРЕМЗ - программа для расчета дифференциальных спектров пионов в реакции $pp \rightarrow n\pi^+$ при энергиях до 1 ГэВ. Физическая модель. - Сообщения ОИЯИ P2-83-298, Дубна, ОИЯИ, 1983.
10. Гайсак И.И., Сусленко В.К. ОРЕМЗ - программа для расчета дифференциальных спектров пионов в реакции $pp \rightarrow n\pi^+$ при энергиях до 1 ГэВ. Описание программы. - Сообщения ОИЯИ P2-83-348, Дубна, ОИЯИ, 1983.
11. Сусленко В.К., Гайсак И.И. Модель однопионного обмена реакции $pp \rightarrow n\pi^+$ и ее проверка на уровне дифференциальных спектров пионов при начальных энергиях от 0.66 до 1 ГэВ. - Препринт ОИЯИ P2-84-780, Дубна, ОИЯИ, 1984; ЯФ, 1986, т.43, в.2, с.392.
12. Сусленко В.К., Гайсак И.И. Сравнение матричного элемента модели однопионного обмена реакции $pp \rightarrow n\pi^+$ с экспериментом при начальной энергии 800 МэВ. - В сб.: Аннотации международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем, Дубна 16-20 июля 1987г. Д4-87-237, Дубна, ОИЯИ, 1987, с.107.

13. Сусленко В.К., Гайсак И.И., Колеров Г.И. О применимости модели однопионного обмена для описания pp-взаимодействия в области 33-резонанса.- Препринт ОИЯИ P2-88-113, Дубна, ОИЯИ, 1988.
14. Suslenko V.K., Haysak I.I., Kolerov G.I., Konstantinescu A. A study of one-pion exchange model matrix element of the $pp \rightarrow np\pi^+$ reaction at initial proton energy of 800 MeV.- JINR preprint E2-89-244, Dubna, 1989; In: "πN and NN Physics. Proc. III Inter. / Symp., Gatchina, April 17-22, 1989", Leningrad, 1989, v.2, p.134.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 марта 1991 года.