

**РЕАКЦИЯ $\pi^+ + {}^{12}\text{C} \rightarrow \text{p} + \text{p} + \text{X}$
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ПИОНОВ 26-39 МэВ**

Ю.К.Акимов, И.И.Гайсак, М.Г.Горнов², М.И.Госткин,
Ю.Б.Гуров², С.П.Круглов¹, С.И.Мерзляков, К.О.Оганесян,
Е.А.Пасюк, С.Ю.Пороховой, А.И.Руденко, И.И.Страковский¹,
А.В.Шишков²

Получены первые экспериментальные результаты по поглощению π^+ -мезонов с энергиями 26 – 39 МэВ на ядре углерода с испусканием двух протонов. Показано, что основным механизмом поглощения является поглощение на квазидейтронной паре в ядрах. При энергии около 28 МэВ обнаружена резонансная особенность в энергетической зависимости полного сечения с шириной меньше 3 МэВ по энергии падающих пионов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

**Reaction $\pi^+ + {}^{12}\text{C} \rightarrow \text{p} + \text{p} + \text{X}$
at Pion Energies of 26-39 MeV**

Yu.K.Akimov et al.

The first experimental results for absorption of π^+ -mesons of 26 – 39 MeV energies in the carbon nuclei with two outgoing protons are presented. It is obtained that the absorption by the quasi-deuteron is the main channel of absorption mechanism. A resonant structure with width less than 3 MeV is observed in the energy behaviour of the total cross section at the energy of incident pion close to 28 MeV.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

В понимании процессов поглощения пионов ядрами до настоящего времени остается много неясного, несмотря на то, что эти реакции интенсивно изучаются несколько десятилетий, со времени появления первых пучков пионов на ускорителях.

¹ Ленинградский институт ядерной физики АН СССР

² Московский инженерно-физический институт

Теоретический интерес к процессам поглощения пионов связан с возможностью получения информации о ненуклонных степенях свободы в ядрах [мезонных и Δ -изобарных], а также желанием выйти на уровень кваркового описания взаимодействия адронов с ядрами, следствием которого может быть обнаружение дибарионных или мультибарионных резонансов в ядрах.

Наиболее интенсивно исследовались реакция $\pi^+ d \rightarrow pp$ и обратная ей $pp \rightarrow \pi^+ d$, которые являются основными каналами поглощения и рождения пионов при промежуточных энергиях. Однако наиболее полные наборы экспериментальных данных имеются в области энергий пионов, близких к резонансной [100 – 250 МэВ]. Значительно меньше исследовано поглощение при $T_\pi < 100$ МэВ. На рис.1 представлена сводка данных по полным сечениям реакции $\pi^+ d \rightarrow pp^{1/}$. Имеющиеся данные зачастую противоречивы. Тем не менее обращает на себя внимание указание на наличие структуры (провала) в области $T_\pi \cong 28$ МэВ ($\sqrt{s} = 2,04$ ГэВ/ c^2).

Для процессов поглощения π^+ -мезонов на других ядрах при энергиях $T_\pi < 60$ МэВ экспериментальные данные отсутствуют,

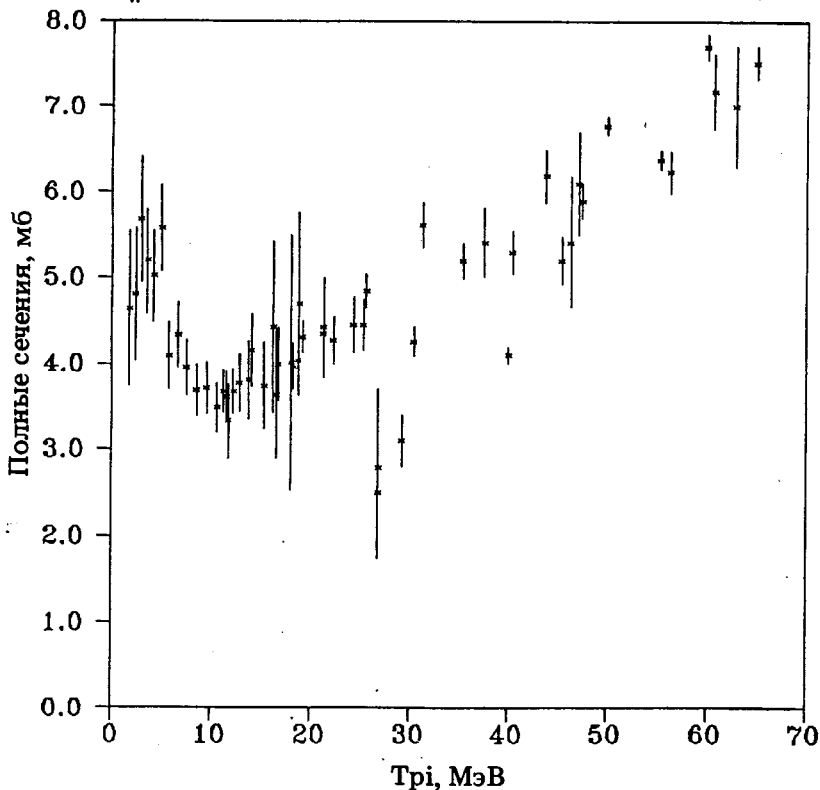


Рис.1. Сводка данных ^{1/} по полным сечениям реакции $\pi^+ d \rightarrow pp$.

хотя с точки зрения исследования ядерной структуры пионы низких энергий обладают определенным преимуществом. Дело в том, что сечения взаимодействия пионов в этой области энергий относительно малы. Эта особенность позволяет почувствовать области ядра глубже тех, которые зондируют пионы более высоких энергий, в особенности резонанса, где большая часть взаимодействий происходит на поверхности ядра.

Описанная ситуация стимулировала проведение исследований поглощения π^+ -мезонов ядрами при энергиях пионов 20 — 60 МэВ. В настоящей работе представлены первые результаты, полученные на ядре углерода. Исследовалась реакция $\pi^+ + {}^{12}\text{C} \rightarrow p + p + X$ с выделением канала с образованием двух протонов в конечном состоянии при энергиях падающих пионов 26, 28, 30, 32, 36 и 39 МэВ.

Постановка эксперимента

Измерения проводились на канале пионов низких энергий П2 синхроциклотрона ЛИЯФ¹². Использовалась мезонообразующая мишень из Ве. Захват частиц в канал происходит под углом 60° к протонному пучку. Канал обладает сравнительно малой длиной, около 8 м, что важно при работе с пионами малых энергий. В канале имеется два поворотных магнита: один в начале, другой в конце. Это дает возможность снизить примесь мюонов в пучке. В середине канала, в промежуточном фокусе, располагается коллиматор, определяющий импульсный разброс пучка. Состав пучка определялся по времени пролета¹³. В качестве старта использовался сигнал со сцинтилляционного детектора на выходе канала, в качестве стопового сигнала — радиочастота ускорителя. Точность определения доли пионов в пучке составляла $\leq 1,5\%$. В диапазоне энергий 26 — 39 МэВ доля пионов изменялась от 63 до 78%.

Для точного нахождения энергетических параметров пучка использовалась методика, описанная в¹⁴. Идея метода состоит в том, что в канале присутствуют тяжелые заряженные частицы (p, d, t,...) с тем же самым импульсом, что и пионы, но с малым пробегом. Их энергии можно измерить с помощью тонкого полупроводникового детектора по полному поглощению. Эта методика позволяет измерять энергию пучка с точностью ≤ 200 кэВ. Импульсный разброс в пучке определяется шириной коллиматора. Канал позволяет получать $\Delta p/p \cong 2,5\%$. В данном эксперименте использовался режим с $\Delta p/p \cong 5\%$. Уменьшение импульсного разброса приводит к существенному уменьшению интенсивности пуч-

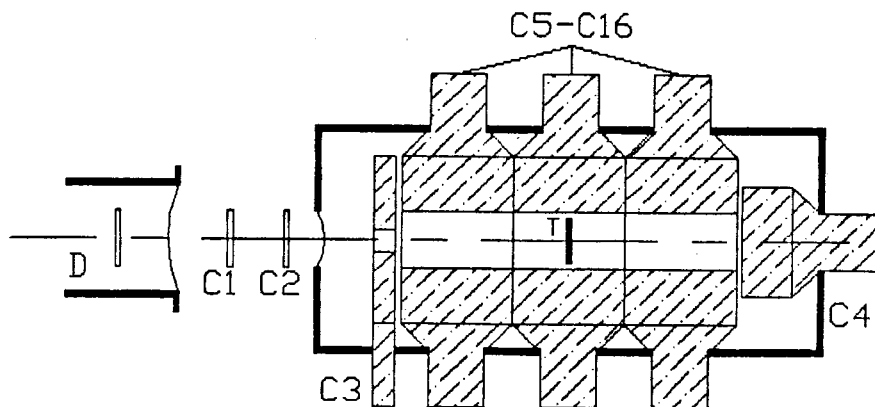


Рис.2. Схема установки.

ка. В описываемых условиях интенсивность пионного пучка составляла $10^3 - 10^4 \text{ с}^{-1}$.

Эксперимент проводился с помощью широкоапертурного сцинтилляционного годоскопа-спектрометра¹⁵. На рис.2 приведена схема установки. Установка состоит из пучковых детекторов C1, C2, которые используются для измерения состава пучка по времени пролета, а также, в комбинации со счетчиками антисовпадений C3 (с отверстием $3 \times 3 \text{ см}^2$) и C4 (торцовый), для триггера установки и измерения входящего потока частиц для нормировки. В вакуумной камере канала помещен полупроводниковый детектор D для измерения энергии пучка. Годоскоп-спектрометр состоит из двенадцати детекторов C5 — C16 из пластикового сцинтиллятора, которые помещены в герметичную камеру. Камера может наполняться газами (H_2 , D_2 , He) при работе с газовыми мишенями или откачиваться в случае работы с твердой мишенью внутри и при фоновых измерениях без мишени. Детекторы объединены в три секции по четыре в каждой и образуют чувствительный объем в виде параллелепипеда с размерами $100 \times 100 \times 600 \text{ мм}$. Энергетическое разрешение детекторов составляло величину $\sim 10\%$.

Измерения проводились с мишенью из углерода толщиной $0,42 \text{ г/см}^2$, которая помещалась в центре установки. Установка при этом откачивалась. Для измерения фона мишень удалялась из камеры. Для запуска установки использовалось условие прохождения частицы через детекторы C1, C2, отсутствия сигналов с C3, C4 и срабатывания двух граней годоскопа. Каждое событие характеризовалось информацией об энерговыделениях в детекторах, номерами сработавших детекторов, мониторными счетами, времяпролетной информацией о пучковых частицах.

Обработка и анализ результатов

При обработке результатов измерений отбирались те события, где сработали две противоположные грани годоскопа и энерговыделение в каждой из них было больше 25 МэВ. Различные комбинации детекторов соответствуют различным угловым диапазонам вылетающих частиц. В настоящей работе представлены результаты для событий, когда оба протона попадают в центральную секцию годоскопа. Это соответствует угловому диапазону $40 - 140^\circ$, причем угол разлета больше 80° . Для отобранных событий строились спектры суммарного энерговыделения двух протонов с вычетом фона. Величина фона составляла $\sim 5\%$ при суммарном энерговыделении двух протонов больше 60 МэВ и менее 1% при ограничении на энергию в 110 МэВ. На рис.3 представлен такой спектр, полученный при $T_\pi = 39$ МэВ. Спектр характеризуется четко выраженным максимумом, свидетельствующим о преимущественной

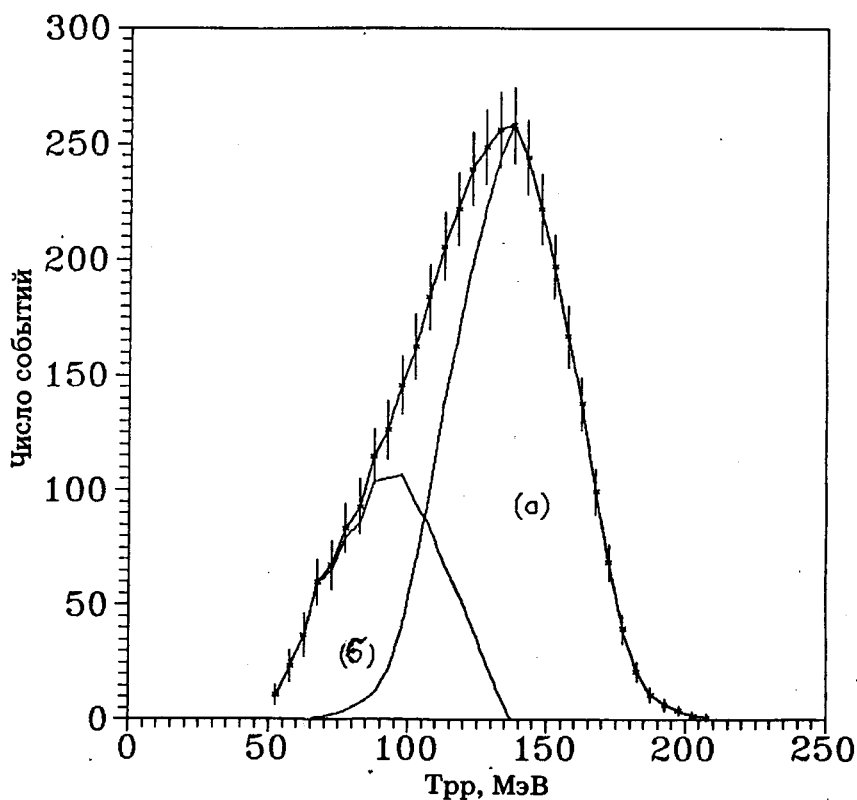


Рис.3. Спектр суммарной энергии двух протонов.

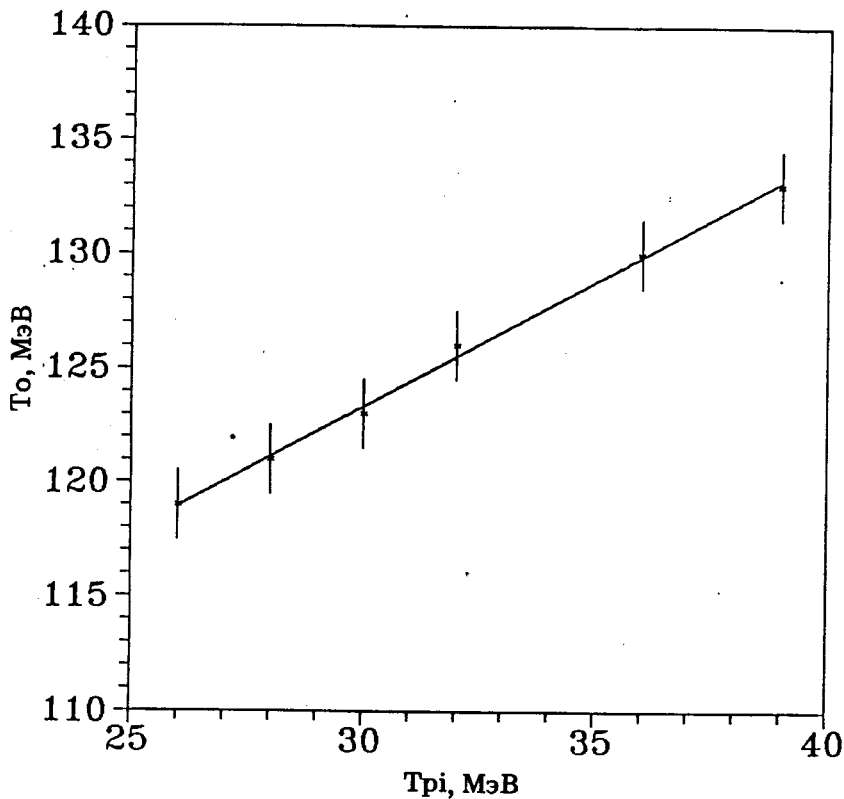


Рис.4. Зависимость положения максимума спектра суммы энергий двух протонов от энергии падающего пиона.

роли квазидейтронного механизма поглощения π^+ -мезонов. Под квазидейтронным механизмом подразумевается механизм, когда пион поглощается на квазисвободной дейтроноподобной паре нуклонов в ядре. Другим аргументом, подтверждающим квазидейтронный механизм реакции, может служить представленная на рис.4 зависимость положения максимума спектра энергий двух протонов от энергии падающих пионов. Линейная зависимость, с наклоном, близким к единице, свидетельствует о том, что вся кинетическая энергия пиона распределяется между двумя вылетающими протонами. Исходя из этого, можно предположить, что все события, лежащие выше максимума, — чисто квазидейтронного происхождения. Тогда в районе максимума можно выделить симметричную область (область (а) на рис.3) и область (б), полученную вычитанием части (а) из исходного спектра. Очевидно, область (а) соответствует квазидейтронному механизму реакции,

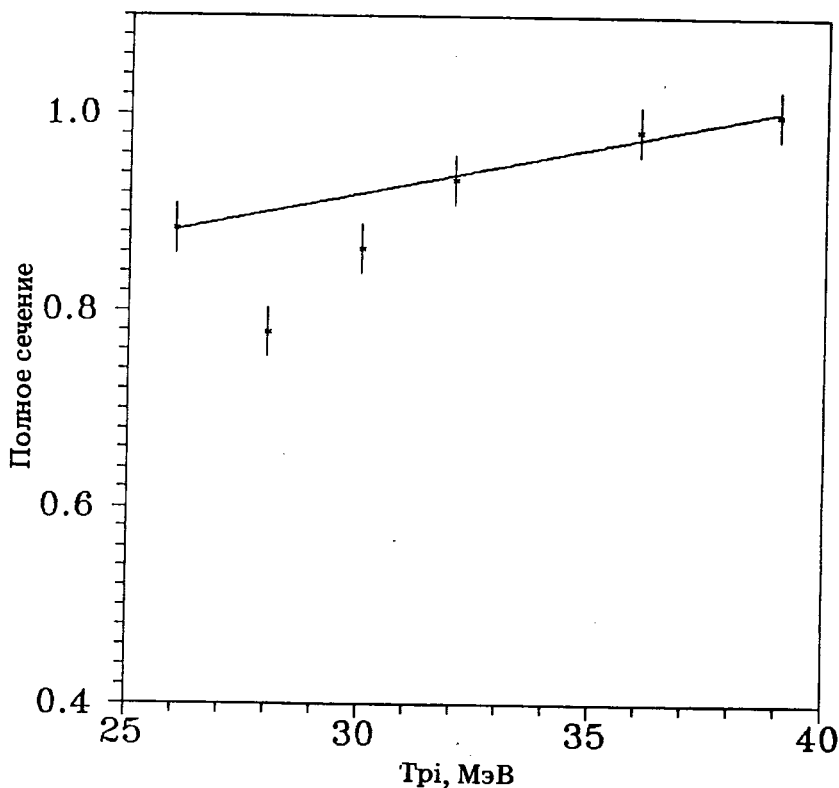


Рис.5. Энергетическая зависимость полного сечения для событий из части (а) спектра на рис.3.

а область (б) — другому механизму, например, с вылетом нейтрона, который не зарегистрирован установкой.

На рис.5 представлена энергетическая зависимость полного сечения реакции в относительных единицах, полученная для всех событий из области (а). При энергии около 28 МэВ проявляется особенность (минимум). Прямая на рис.5 есть результат фита линейной функцией по четырем точкам (данные при 28 и 30 МэВ исключены). Для этого фита получено значение $\chi^2 = 0,95$, тогда как при фите всех шести точек χ^2 получается равным 13,8. Отклонение от линейной зависимости в точках 28 и 30 МэВ составляет 4-5 стандартных отклонений. Положение особенности можно оценить как $(28,5 \pm 0,5)$ МэВ. Ширина видимой структуры — 3 МэВ. Энергетический разброс пучка также составляет величину ~ 3 МэВ, следовательно, собственная ширина структуры меньше 3 МэВ. Резонансное поведение имеет место для событий, соответствующих квазидей-

тронному механизму. Если сопоставить эту зависимость с данными для процесса $\pi^+ d \rightarrow pp$, то наблюдается строгое соответствие относительного поведения сечений этих процессов. Последнее обстоятельство можно считать еще одним подтверждением квазидейтронного происхождения событий из области (а) спектра энергий двух протонов. Оценка абсолютного значения полного сечения при энергии 39 МэВ составляет (21 ± 4) мб. Ошибка в абсолютной нормировке связана с неточностью знания аксептанса установки и является одной и той же для всех энергий пионов. Относительные ошибки в энергетической зависимости определяются 3%.

Возможны несколько подходов к интерпретации обнаруженного явления. Один из вариантов для реакции $\pi^+ d \rightarrow pp$ обсуждался в работе¹⁶. Было показано, что такая структура объяснима возможным наблюдением дибарионного резонанса с квантовыми числами 3P_2 при $T_\pi = 28$ МэВ ($\sqrt{s} = 2,04$ ГэВ/ c^2). Эта величина достаточно хорошо согласуется с положением реджевской траектории дипротоннов с изоспином $I = 1$ в точке $J = 2$ в рамках модели мешков¹⁷. Другое объяснение этого явления рассматривается в работе¹⁸, где высказано предположение о том, что наблюдаемая структура может быть проявлением пороговой особенности (каспа) при открытии новых каналов реакции. В частности, в качестве такого канала можно рассматривать возбуждение гигантского дипольного резонанса. Усиление пороговой аномалии в канале поглощения можно объяснить, если рассматривать процесс как двухступенчатый: сначала возбуждение гигантского резонанса, затем поглощение пиона. В таком подходе энергия пиона попадает в область < 5 МэВ, где имеет место резкий, как $1/v$, рост сечения поглощения. В этой работе дается оценка величины возможного эффекта — 3 мб, что близко к наблюдаемому.

Литература

1. Лаптев А.Б., Страковский И.И. — Компиляция экспериментальных данных для процесса $pp \Leftrightarrow d\pi^+$. Л.: ЛИЯФ, 1985.
2. Волченков В.А. и др. — Препринт ЛИЯФ № 612, Л., 1980.
3. Гайсак И.И. и др. — Сообщение ОИЯИ 13-87-820, Дубна, 1987.
4. Гайсак И.И. и др. — ПТЭ, 1988, № 1, с.22.
5. Акимов Ю.К. и др. — ПТЭ, 1980, № 4, с.24.
6. Страковский И.И., Пасюк Е.А. — В сб.: Труды IV семинара по программе исследований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР. М.: ИЯИ АН СССР, 1986, с.241.

7. Кондратюк Л.А. — В сб.: Труды 2 симпозиума по NN- и hA- взаимодействиям при промежуточных энергиях. Л.: ЛИЯФ, 1984, с.402.
8. Khankhasaev M.Kh. — JINR Preprint E4-89-821, Dubna, 1989.

Рукопись поступила 3 сентября 1990 года.